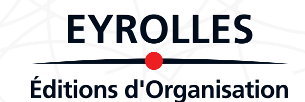
Maurice **PILLET**
Chantal **MARTIN-BONNEFOUS**
Pascal **BONNEFOUS**
Alain **COURTOIS**



GESTION DE PRODUCTION

Les fondamentaux et les bonnes pratiques

5e édition



Références

- **Un ouvrage de référence pour tous les gestionnaires de production industrielle.**
- **Un cas concret d'entreprise fictive, fil rouge de l'ouvrage, pour expliquer et illustrer les différents outils et méthodes utilisés.**
- **Toutes les méthodes et tous les outils de gestion de production, des plus traditionnels aux novateurs, explicités, comparés et illustrés.**

L'ouvrage, entièrement mis à jour, reflète toutes les évolutions liées à la gestion de production. Il se divise désormais en deux grandes parties ; la première regroupe les méthodes de base de la gestion de la production ainsi que l'informatisation de celles-ci (chapitres 2 à 10) ; la seconde concerne les méthodes d'amélioration de la production (chapitres 11 à 15), en mettant un accent fort sur la philosophie du Lean Manufacturing :

- *L'entreprise en mouvement avec le Lean.*
- *Les principaux outils du Lean.*
- *Le pilotage d'atelier en flux tirés par la méthode Kanban.*
- *L'implantation d'ateliers.*
- *Les indicateurs de performance.*

Pour faciliter la lecture, illustrer les différentes méthodes et les différents outils de la gestion de production, les auteurs ont développé une entreprise fictive, iTechMedia.

Maurice PILLET, certifié « Fellow » APICS-CFPIM, ancien élève de l'ENS Cachan, professeur des Universités au département Qualité, Logistique Industrielle et Organisation de l'IUT d'Annecy, directeur de recherche au laboratoire Symme de l'Université de Savoie, pratique le conseil auprès de nombreuses entreprises dans le domaine de la performance industrielle.

Chantal MARTIN-BONNEFOUS, certifiée APICS-CPIM, ancienne élève de l'ENS Cachan, agrégée d'économie et de gestion au département Qualité, Logistique Industrielle et Organisation de l'IUT d'Annecy, pratique le conseil auprès de nombreuses entreprises dans le domaine de la performance industrielle.

Pascal BONNEFOUS, certifié « Fellow » APICS-CFPIM, ancien élève de l'ENS Cachan, agrégé de Génie mécanique au département Qualité, Logistique Industrielle et Organisation de l'IUT d'Annecy, auteur du didacticiel Odyssée « La gestion de production par la pratique » et d'Impact « Le logiciel pour l'implantation d'atelier », est aussi formateur en gestion industrielle pour les entreprises.

Alain COURTOIS, certifié « Fellow » APICS-CFPIM, a présidé pendant six ans l'Assemblée des chefs de département OGP, est professeur émérite à l'université de Savoie.

www.editions-organisation.com
Groupe Eyrolles

Gestion de production

Éditions d'Organisation
Groupe Eyrolles
61, bd Saint-Germain
75240 Paris Cedex 05

www.editions-organisation.com
www.editions-eyrolles.com

Les photos des pages 94, 95 et 96 appartiennent aux auteurs.



ISBN : 978-2-212-54977-5

Maurice Pillet
Chantal Martin-Bonnefous
Pascal Bonnefous
Alain Courtois

Gestion de production

Les fondamentaux et les bonnes pratiques

Cinquième édition



Sommaire

Remerciements

Cet ouvrage est le fruit de plus de vingt ans d'enseignement et de conseil en gestion industrielle. Il résulte d'un échange permanent avec nos interlocuteurs tant universitaires qu'industriels. Ce sont eux que nous voulons donc remercier en premier lieu : nos promotions successives d'étudiants en Institut universitaire de technologie, licence professionnelle ou école d'ingénieurs ainsi que les personnels des entreprises dans lesquelles nous sommes intervenus.

Autre interaction fructueuse, la relation forte avec l'APICS (Association for Operations Management) *via* la société MGCM, qui nous a permis d'obtenir des certifications américaines en gestion industrielle (CPIM et CFPIM) et de tisser un solide réseau de connaissances industrielles, et permis aussi de proposer la certification BASICS à nos étudiants. Nous tenons à remercier ici Michel GAVAUD, P-DG de MGCM, pour cette relation de partenariat qui dure depuis vingt ans.

Nous devons aussi citer l'association ProGection (Promotion de la gestion de production), que nous avons fondée avec quelques industriels locaux il y a vingt-cinq ans déjà et qui, à travers l'organisation, chaque année, de plusieurs conférences portant sur la gestion industrielle, nous a permis d'améliorer nos connaissances et de découvrir beaucoup de « bonnes pratiques » industrielles qui ont nourri nos différentes interventions ainsi que cet ouvrage. Merci en particulier aux membres industriels du conseil d'administration de ProGection : Nicolas CAPRI (Rolex), Jean-Pierre CARRE (ex-Dynastar-Rossignol), Jean-Robert COMPERAT (Consultant & Professeur associé), Christophe GIACHETTI (Fournier-Mobalpa), Pierre LAGARDE (NTN-SNR), André MONTAUD (Thésame), Francis PETITJEAN (Bosch Rexroth) et Pierre STAEHLE (chambre syndicale de la métallurgie).

Nous n'oublions pas les collègues du département QLIO (Qualité, Logistique industrielle et Organisation) de l'IUT d'Annecy, qui par leurs compétences, nous permettent des échanges fructueux dans un climat convivial.

Merci également à Maud qui a réalisé les dessins d'illustration des produits **iTechMedia**.

Avant-propos

Cette cinquième édition de *Gestion de production* correspond à une révision majeure de ce livre qui fait référence en gestion industrielle. Tous les chapitres ont été réécrits afin de réactualiser leur contenu avec les meilleures pratiques de la gestion de production. Mais au-delà de la réécriture, nous avons également modifié en profondeur la structure de l'ouvrage.

Nous avons séparé en deux grandes parties notre propos.

Nous abordons d'abord les méthodes de base de la gestion de la production, ainsi que l'informatisation de celles-ci (chapitres 2 à 10) :

- données techniques ;
- gestion des stocks ;
- prévision de la demande ;
- planification détaillée ;
- pilotage des activités de production ;
- planification globale ;
- chaîne logistique globale : *supply chain* ;
- gestion de projet ;
- gestion de production et système d'information.

Puis les méthodes d'amélioration de la production (chapitres 11 à 15), en mettant un accent fort sur la philosophie du *Lean Manufacturing* :

- l'entreprise en mouvement avec le *Lean* ;
- les principaux outils du *Lean* ;

- le pilotage d'atelier en flux tirés par la méthode Kanban ;
- l'implantation d'atelier ;
- les indicateurs de performance.

Chaque fois que cela aura été possible, nous avons essayé de faire ressortir les « bonnes pratiques » qui ont fait leurs preuves dans différentes entreprises.

Autre innovation, nous avons développé une entreprise fictive « **iTechMedia** » qui est présentée dans le chapitre 1. Cette entreprise sera utilisée dans de nombreux chapitres de façon à expliquer et à illustrer les différentes méthodes et les différents outils de la gestion de production.

Nous avons cherché à rendre la lecture de cet ouvrage encore plus facile que les précédentes versions, et à donner au lecteur une description la plus complète possible des pratiques de la gestion industrielle moderne.

Nous vous proposons donc notre vision des fondamentaux et des bonnes pratiques de la gestion de production et vous souhaitons une bonne lecture.

Annecy, le 21 décembre 2010

Maurice Pillet

Chantal Martin-Bonnefous

Pascal Bonnefous

Alain Courtois

Chapitre 1

Introduction

1. Les enjeux de la gestion de production

1.1. La gestion de production, source de compétitivité

Depuis toujours, les entreprises ont eu besoin de gérer leurs productions pour imposer leur efficacité. Ainsi le rôle de la gestion de production est-il aussi ancien que l'entreprise elle-même. On peut dater les premières réelles expériences en matière de gestion de la production au moment de la réalisation des premières pyramides égyptiennes. Ces grands chantiers ont permis les premières réflexions dans le domaine des approvisionnements, des ressources humaines mais aussi de la standardisation des tâches.

D'un point de vue très global, on s'aperçoit vite que pour être capable de fournir un produit ou un service à un client, l'entreprise doit être capable de mobiliser de nombreuses ressources (moyens de production, moyens de transport…), de nombreux intervenants internes ou externes à l'entreprise, des matières premières, des produits à acheter ou à fabriquer. Il faut mettre en œuvre un savoir-faire, dans un environnement souvent instable où l'on doit jongler avec les évolutions des monnaies, des législations, des variations climatiques… et tout ceci avec des contraintes de temps, de qualité et financières.

Pour être capable de produire sereinement un produit ou un service, il faut donc un minimum d'organisation et de gestion. L'objectif de la gestion de production est de gérer cette complexité, et un bon moyen de gérer la complexité consiste déjà à simplifier toute la complexité inutile.

La gestion de production est une source considérable de compétitivité. C'est ce qu'ont compris, sans doute avant d'autres, les meilleurs industriels de l'automobile tels que Toyota. Si fabriquer des produits de qualité est une condition nécessaire de compétitivité, ce n'est pas une condition suffisante. Il faut être capable de produire dans des délais très courts une grande variété de produits capables de satisfaire les clients. Pour être compétitif, il faut fabriquer le juste nécessaire, ne pas ajouter d'opérations inutiles, se focaliser sur ce qui apporte de la valeur ajoutée pour le client.

Et pourtant, dans une entreprise, avec la complexité des flux de produits et des flux d'informations, il se crée chaque jour des opérations, des stockages, un allongement des délais qui nuit à la compétitivité. Citons quelques éléments de compétitivité sur lesquels la gestion de production aura une influence considérable :

- le niveau des stocks. Ils représentent une masse financière immobilisée très importante, avec parfois des obsolescences, des péremptions, des déchets. Ils nécessitent des entrepôts qui coûtent cher. Nous chercherons à les diminuer, voire à les supprimer ;
- les transports. Transporter un produit n'apporte pas de valeur ajoutée au client. Cela induit des délais, des coûts car il faut investir dans des moyens de transport. Là encore, l'objectif de la gestion de production sera de trouver une organisation capable d'optimiser, de diminuer voire de supprimer certains transports ;
- les informations et les documents. Pour fournir un service ou un produit, il est nécessaire de disposer d'une masse d'informations souvent très importante qui se traduit par des documents ou des enregistrements informatiques. Cette quantité d'informations, si elle n'est pas gérée avec attention va conduire à des erreurs, des doublons qui vont inévitablement aboutir à des erreurs sur les produits ou services. Là encore, la gestion de production aura comme objectif de bien gérer les flux d'informations pour accroître la compétitivité.

Les enjeux de la gestion de production sont donc bien sûr financiers, mais aussi organisationnels. Ces enjeux ont beaucoup évolué au cours de ces dernières décennies.

1.2. Évolution des enjeux de la gestion de production dans l'histoire

La perception de la gestion de production a beaucoup évolué au cours de l'histoire. Aujourd'hui, la gestion de la production se place au cœur de la stratégie de l'entreprise. Pourquoi ? La réponse à cette question réside dans l'évolution des conditions de la compétitivité économique.

Depuis un passé récent (le milieu du XXe siècle pour fixer les idées), on peut distinguer trois phases d'évolution dans l'environnement de l'entreprise. Selon son secteur d'activité, l'enchaînement de ces trois phases dans le temps peut être différent.

La phase initiale représente une période de forte croissance avec un marché porteur, des marges confortables et une offre de biens inférieure à la demande. Il s'agit pour l'entreprise d'une période de sérénité où les fonctions essentielles sont techniques et industrielles. Il faut alors **produire puis vendre**. Les principales caractéristiques de la production sont les suivantes : quantités économiques de production, stocks tampons entre les postes de travail, fabrication en série, délais fixés par le cycle de production, gestion simple et souvent manuelle.

Lorsque l'offre et la demande s'équilibrent, nous atteignons une deuxième phase où le client a le choix du fournisseur. Pour l'entreprise, il faut alors **produire ce qui sera vendu**. Il devient dans ce cas nécessaire de faire des prévisions commerciales, de maîtriser l'activité de production, d'organiser les approvisionnements, de réguler les stocks et de fixer les échéances.

Très rapidement, on passe à la phase suivante où l'offre excédentaire crée une concurrence sévère entre les entreprises face à un client devenu exigeant. Cette compétitivité oblige l'entreprise à :

- la maîtrise des coûts ;
- une qualité irréprochable ;
- des délais de livraison courts et fiables ;
- de petites séries de produits personnalisés ;
- un renouvellement des produits dont la durée de vie s'est raccourcie ;
- l'adaptabilité à l'évolution de la conception des produits et aux techniques de fabrication…

L'entreprise tend désormais à **produire ce qui est déjà vendu**. Nous voyons apparaître des soucis de stratégie industrielle et de contrôle précis de la gestion. De plus, on y décèle des contradictions (prix-qualité, prix-petites séries…) qui nécessiteront des arbitrages pour obtenir une cohérence globale.

La phase que nous venons de décrire, dans laquelle se reconnaissent encore beaucoup d'entreprises, est sur le point d'être dépassée pour de nombreuses raisons.

Le challenge des prochaines décennies s'oriente vers des logiques beaucoup plus globales de réflexion interentreprises, voire même intergroupes. En effet,

face à la situation actuelle qui impose une qualité encore meilleure, des délais toujours plus courts, une fiabilité accentuée, des coûts toujours plus bas, un temps de réponse au marché sans cesse amélioré, les entreprises se sont interrogées sur les progrès qu'elles pouvaient encore réaliser. Les démarches juste-à-temps, qualité totale et *Lean Production* permettent aux entreprises d'améliorer leurs processus de production internes, parfois leurs processus d'approvisionnements directs et leurs processus de distribution directs. La mise en place et la pratique généralisée de ces démarches ne vont plus suffire. Il faudra aller encore plus loin.

Demain, la problématique va s'orienter vers une amélioration globale, du fournisseur du fournisseur du fournisseur… jusqu'au client du client du client… en d'autres termes, du premier fournisseur dans le processus de réalisation du produit jusqu'au client ultime : le consommateur du produit. C'est ce que l'on appelle la logique *supply chain* ou plutôt : chaîne logistique intégrée, chaîne logistique étendue.

Cette démarche a pour objectif de travailler non seulement au niveau des maillons de la chaîne mais aussi et surtout au niveau des connexions entre ces divers maillons, pour optimiser la chaîne logistique.

1.3. Les enjeux financiers de la gestion de production

La compétitivité se mesure d'abord par la capacité d'une entreprise à fournir un produit avec des coûts maîtrisés. En règle générale, chaque société possède des fournisseurs, des clients et crée **une valeur ajoutée** au niveau de ses produits.



Figure 1.1 – La production de valeur ajoutée

La valeur ajoutée est le moteur économique de la société, car elle permet :

- la fourniture de produits utiles aux clients ;
- la création de richesses économiques ;
- la distribution de ces richesses au personnel (salaires, intéressement aux résultats), aux fournisseurs (achats), aux collectivités (locales, régionales ou État, sous forme d'impôts, de taxes) et aux actionnaires (dividendes) ;

- le financement du futur de l'entreprise (investissements, recherches et développements…), et la possibilité de faire face à des aléas conjoncturels extérieurs politiques ou économiques (comme un krach boursier).

Quels que soient le système politique et les opinions de chacun, la recherche de la pérennité condamne l'entreprise à rechercher un niveau de rentabilité suffisant, compte tenu à la fois de la compétitivité internationale de plus en plus agressive et des exigences croissantes du client.

Au lieu de considérer la relation classique :

Coût de revient + marge bénéficiaire = prix de vente

Il est préférable de s'appuyer sur la relation suivante :

Prix de vente – coût de revient = marge bénéficiaire

Voire même :

Prix de vente – marge souhaitée = coût de revient cible

Si ces trois relations sont équivalentes d'un point de vue mathématique, il en va tout autrement du point de vue de la philosophie de l'entreprise et de sa gestion de production.

La troisième équation fait référence à une méthode qui nous vient du Japon et qui s'appelle le *target costing* ou coût de revient cible. Cette méthode propose la réflexion suivante : l'entreprise a une marge de manœuvre très limitée au niveau de la fixation de son prix de vente produit, celui-ci étant quasiment imposé par le marché. Par ailleurs, si l'entreprise veut assurer sa pérennité, elle se doit de réaliser une certaine marge sur le produit pour pouvoir assurer ses investissements futurs, son développement.

Cela signifie donc que si l'entreprise veut continuer d'exister, elle doit supporter un coût de revient au maximum égal au coût de revient cible. Si ce n'est pas le cas, elle se doit de réfléchir à toutes les améliorations qu'elle peut réaliser pour rester dans l'enveloppe définie par le coût de revient cible. Toutes les améliorations, c'est-à-dire tout ce qui est possible à tous les niveaux : conception, industrialisation, approvisionnement, distribution, production, logistique, qualité…

Au niveau de la gestion de la production, où peut-elle intervenir ?

Illustrons notre propos par une petite histoire : un inventeur génial veut créer une entreprise pour exploiter son brevet révolutionnaire. Il convainc son banquier de lui fournir un capital de départ afin d'acheter machines et matières

premières nécessaires à la fabrication de ses premiers produits. Avant de réaliser les premières ventes, il s'écoule un certain temps… les intérêts de la somme empruntée courent ! Bientôt tout de même, ses produits sont vendus mais le client paye « 60 jours fin de mois »… les intérêts courent toujours ! La fin peut être tragique car les intérêts ont mangé une grosse part des bénéfices escomptés.

Cette histoire caricaturale montre que l'aspect financier est un problème à deux dimensions. En effet, la situation financière dépend de :

- la quantité des moyens mis en place pour assurer la production (investissements, fonds de roulement) ;
- la durée du cycle de fabrication et d'utilisation des moyens (facteur temps).

Nous schématiserons ainsi le flux financier de l'entreprise :

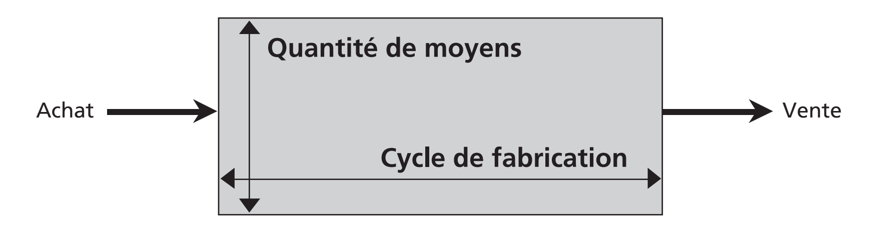


Figure 1.2 – Les deux composantes des moyens financiers

La gestion de production va agir sur ces deux paramètres par :

- la diminution des stocks et en-cours, par différents moyens (fiabilisation de la demande et des approvisionnements, recherche d'une meilleure fiabilité des moyens de production, responsabilisation des personnes…) et différentes méthodes de gestion (MRP, Kanban…) ;
- l'enchaînement des opérations par une meilleure implantation des moyens de production et un meilleur ordonnancement lancement-suivi de production ;
- la diminution des tailles de lots de fabrication et des temps de changement de séries ;
- l'amélioration de la chaîne logistique qui part des fournisseurs pour aller jusqu'à la livraison aux clients.

Afin de réduire la surface « quantité multipliée par durée », il est souhaitable de ne commander les produits nécessaires qu'au moment où l'on en a besoin (figure 1.3).

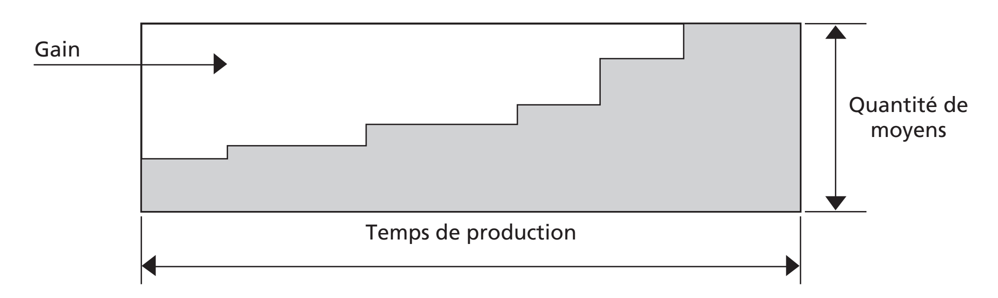


Figure 1.3 – Approvisionnement selon le besoin

Mais cette solution n'est pas sans risque car dans le cas d'un manquant, c'est l'ensemble de la production qui sera retardée. Ainsi, commander au plus tard est un jeu délicat qui peut être dangereux pour l'entreprise parce que l'espérance d'un petit gain peut générer une perte bien plus importante si l'on ne maîtrise pas totalement les paramètres de production.

Quoi qu'il en soit, tous ces éléments d'amélioration vont permettre à l'entreprise de diminuer son coût de revient et d'entrer dans l'enveloppe du coût de revient cible. Si ce n'est pas le cas, le produit concerné ne verra pas le jour, sauf pour des raisons stratégiques qui donnent la possibilité à l'entreprise de perdre de l'argent sur certains produits de sa gamme.

1.4. Les enjeux organisationnels de la gestion de production

Que l'on soit intégré dans un projet de type *supply chain* ou non, l'objectif « produire ce qui est déjà vendu » reste l'objectif dominant. Pour y parvenir, l'entreprise se doit d'être au moins réactive voire proactive.

- Être réactive, cela signifie être capable de s'adapter très vite et en permanence aux besoins en produits de plus en plus variés, d'un marché mondial et fortement concurrentiel.
- Être proactive, cela signifie avoir la capacité d'influencer l'évolution du marché, donc d'y introduire des produits nouveaux avant les concurrents.

À cet effet, l'entreprise doit organiser sa production de manière à fabriquer des produits de qualité, avec une grande diversité et au plus juste coût. C'est l'enjeu organisationnel de la gestion de production, l'organisation doit donner de l'agilité à l'entreprise, lui fournir les capacités de réaction, d'adaptation en temps réel aux fluctuations du marché.

Dans ce contexte, le temps a une importance fondamentale. Il faut chercher à réduire tous les délais : d'approvisionnement, de fabrication et de livraison.

Mais cela n'est pas suffisant ; il faut aussi diminuer les temps de conception-mise à disposition du produit par utilisation de l'ingénierie simultanée, diminuer les temps de circulation et de mise à disposition de l'information, raccourcir les délais de prise de décisions…

Si l'organisation de l'entreprise nécessite un délai de conception de plusieurs années associé à un délai de production lui-même dépassant l'année, il est difficile d'imaginer que l'entreprise soit capable de s'adapter rapidement à une situation changeante. L'organisation de la production est fondamentale. L'entreprise doit chercher dans le cadre de sa gestion de production à passer d'une logique de charges à une logique de flux. Il faut que les produits s'écoulent très rapidement pour parcourir l'ensemble du processus dans un temps très réduit. C'est vrai dans l'entreprise, mais également sur l'ensemble de la *supply chain*.

Nous verrons dans cet ouvrage comment des logiques d'organisation comme les flux tendus, le Kanban, le *Lean* contribuent à accélérer les flux des produits. Suivant la façon dont sont organisés les moyens de production au travers de l'implantation, le stockage des produits, des en-cours, la circulation de l'information, on obtient des résultats très différents en termes de délai. Dans un environnement changeant, il faut aussi être adaptatif. Pour cela, il est nécessaire de mettre en œuvre un processus continu d'améliorations qui consiste à induire une mobilisation constante de l'ensemble des forces de l'entreprise dans un but d'évolutions et de transformations à petits pas.

Ce sont là les enjeux organisationnels de la gestion de production. Organiser les flux de production, les flux d'informations pour que s'écoulent le plus rapidement possible les produits. Organiser la production pour être capable de s'adapter sans cesse aux perturbations du marché. Organiser les hommes qui sont les seuls capables d'apporter de la créativité, de l'innovation, pour soutenir l'amélioration continue.

2. Différentes dimensions de la gestion de production

Dans le terme « gestion de production », il faut entendre toutes les dimensions de l'entreprise qui participent à la production. Ainsi, gérer une production c'est :

- gérer des matières ;
- gérer des ressources ;
- gérer des flux de produits et d'informations ;
- gérer des hommes.

2.1. Gérer des matières

Pour être capable de livrer un produit fini, il faut disposer de matières premières, de pièces, de sous-ensembles, mais aussi de tous les produits nécessaires à la fabrication ou à l'assemblage et tous les éléments d'emballage. La liste de l'ensemble des éléments qu'il est nécessaire d'approvisionner pour fabriquer un produit fini est généralement donnée par la nomenclature. La gestion de production de l'entreprise devra être capable de rendre les produits disponibles au moment où on en aura besoin. Elle devra être capable de stocker ce qui n'est pas nécessaire immédiatement. Gérer les matières c'est donc s'intéresser à la gestion des approvisionnements, à la gestion des stocks et à la gestion des données techniques. Ces différents éléments seront abordés dans les chapitres 2, 3 et 4 de cet ouvrage.

2.2. Gérer des ressources

Un produit fini est fabriqué à l'aide de ressources qui peuvent être des moyens de production mais aussi des ressources humaines. Pour que ces ressources soient disponibles au moment prévu, il faut les gérer. Cette gestion des ressources a pour objectif d'équilibrer si possible les charges de travail avec les capacités des ressources. Cette gestion des ressources doit se faire à différents horizons avec des conséquences différentes.

Sur le court terme, il faudra affecter les ressources disponibles et ordonnancer le travail à réaliser. Sur le moyen terme, on s'intéressera davantage à équilibrer les charges en prenant des décisions d'anticipation et de répartition du travail. Sur le long terme, on prendra des décisions plus stratégiques d'investissement ou d'embauche et de formation de personnel. Ces trois termes feront l'objet des trois chapitres 5, 6 et 7. Le chapitre 9 aborde cette notion de gestion des ressources dans le cadre d'une gestion de projet.

2.3. Gérer des flux de produits et d'informations

Quand on parle de gestion de production dans les entreprises, on fait constamment référence à des notions de flux : implantation en flux, flux poussés, flux tirés, flux tendus, flux logistiques… La notion de flux est synonyme de mouvement, de circulation, d'évolution, de rapidité et donc d'efficacité.

En gestion de production, on s'intéresse plus particulièrement aux :

- **flux physiques** : approvisionnement, entrée et circulation des matières premières, des composants, des pièces de rechange, des sous-ensembles ; circulation, sortie et distribution des produits finis ;

- **flux d'informations** : suivi des commandes, des ordres de fabrication, des données techniques, des heures de main-d'œuvre, des heures machines, des consommations de matières, des rebuts…

Les flux physiques sont souvent la conséquence de l'organisation des postes de production. Nous aborderons dans le chapitre 14 les différentes méthodes et approches permettant d'optimiser l'implantation des ressources de production.

Les flux d'informations sont eux la conséquence de l'organisation du système d'information. Mais aussi de la façon dont on décide de gérer les flux physiques. Plusieurs chapitres seront consacrés à ce point, notamment le chapitre 10 sur le système d'information. Mais également le chapitre 13 consacré aux flux tirés.

La préoccupation majeure de la gestion de production étant la **satisfaction des clients**, celle-ci se doit de chercher à maîtriser ses flux. À cette fin, elle doit :

- simplifier les flux physiques en supprimant les opérations non génératrices de valeur vendable au sens valeur utile pour le client (par réimplantation des moyens de production) ;
- fluidifier et accélérer les flux physiques en évitant les pannes machines, en diminuant les temps de changements de série, en améliorant la qualité des pièces, en développant la polyvalence des hommes, en développant le partenariat avec les fournisseurs et les distributeurs, en maîtrisant les flux de transports externes des produits…
- simplifier et synchroniser les flux d'informations avec les flux physiques.

Cette simplification passe par une réflexion globale sur le système de production. Le *Lean Manufacturing* qui sera abordé aux chapitres 11 et 12 va dans le sens de cette recherche de simplification.

Maîtriser ses flux physiques et informationnels, et plus encore, les améliorer est, pour une entreprise, l'un des challenges déterminants des prochaines années.

2.4. Gérer des hommes

L'influence technologique est dominante dans la fonction production mais le facteur humain dont dépendra toute la réussite du projet d'entreprise reste fondamental. Il intéresse au premier chef le gestionnaire de production, au carrefour de multiples informations et instructions, qu'il reçoit et qu'il communique à de nombreux utilisateurs.

Le système de production ne fonctionnera correctement qu'avec des informations rapides et fiables, un respect rigoureux des consignes et procédures,

des initiatives et réactions individuelles en cas d'anomalie ou d'écart par rapport à la prévision. En d'autres termes, la gestion de la production ne peut jamais être l'affaire exclusive de quelques experts, mais au contraire, elle a besoin de la participation active de nombreuses personnes placées dans la plupart des secteurs de l'entreprise.

Cette collaboration effective ne peut pas être obtenue dans un contexte de mauvais fonctionnement des relations de travail, quelles qu'en soient les causes : climat social, ambiance, structure et organisation du travail. Aussi, la gestion de production doit-elle impérativement être mise en œuvre par des personnes motivées, réactives, responsabilisées et formées. C'est aujourd'hui une nécessité pour toutes les entreprises à la recherche de l'excellence industrielle face à la vive compétition internationale.

L'organisation classique de la production était fondée sur la division du travail, la spécialisation des tâches, la centralisation des responsabilités et la hiérarchisation des compétences. Cette production de masse parcellisée fait place, chaque jour davantage, à des structures plus souples en petites équipes, ou à des individus, réalisant des tâches plus complexes et moins répétitives. Cette restructuration du travail implique une polyvalence et une polytechnicité accrue nécessitant la formation du personnel. Le rôle de la hiérarchie tend à évoluer vers plus d'animation et de conseil, dans le but d'accroître la motivation de l'ensemble du personnel, améliorant productivité, qualité, sécurité…

3. Les principales organisations de production

Chaque entreprise est unique par son organisation et par la spécificité des produits qu'elle fabrique. Cependant, on peut réaliser une classification des entreprises en fonction des critères suivants :

- quantités fabriquées et répétitivité ;
- organisation des flux de production ;
- relation avec les clients.

Ces critères ne sont bien sûr pas exhaustifs, mais ils permettent de bien cerner le type d'une entreprise. Une typologie de production est fondamentale, car elle conditionne le choix des méthodes de gestion de production les plus adaptées. Cette analyse est donc un préalable indispensable à tout projet de mise en place ou de restructuration d'une gestion de production. Remarquons qu'en fait, toute entreprise est une juxtaposition des différents types que nous décrirons et qu'elle sera par conséquent amenée à mettre en place diverses approches.

3.1. Classification en fonction de l'importance des séries et de la répétitivité

La première différence notable entre les entreprises concerne bien sûr l'importance des productions. Les quantités lancées peuvent être :

- en production unitaire ;
- en production par petites séries ;
- en production par moyennes séries ;
- en production par grandes séries.

Notons que les nombres liés aux notions de petit, moyen et grand sont sensiblement différents suivant le produit concerné. Pour fixer les idées, indiquons un ordre de grandeur moyen : 100 pour les petites séries, 1 000 pour les moyennes séries et 100 000 pour les grandes séries.

Pour chacune de ces quantités, les lancements peuvent être répétitifs ou non, ce qui interviendra également sur la typologie de l'entreprise. On peut donc établir le tableau croisé suivant :

	Lancements répétitifs	Lancements non répétitifs
Production unitaire	• Moteur de fusée • Pompes destinées au nucléaire	• Travaux publics • Moules pour presses • Paquebots
Petites et moyennes séries	• Outillage • Machines-outils	• Sous-traitance (mécanique électronique) • Préséries
Grandes séries	• Électroménager • Automobile	• Journaux • Articles de mode

Figure 1.4 – Classification quantité/répétitivité

Chacun de ces types de production nécessite une approche de gestions particulières et une implantation des moyens de production adaptée.

3.2. Classification selon le type d'implantation

Les entreprises sont organisées de façon très différente selon les choix d'organisation qui ont été faits et le type de produit réalisé. Nous reviendrons en détail sur ces différents types d'organisation dans le chapitre 14 qui porte sur l'implantation d'atelier.

Citons cependant les trois grands types d'implantation :

- l'implantation en continu. Dans ce type d'implantation, les ressources sont implantées les unes à proximité des autres dans l'ordre du besoin pour la réalisation du produit. Ce type d'implantation est parfaitement adapté aux grandes séries pour lesquelles la diversité des produits est maîtrisée ou aux entreprises de process comme la chimie, les cimenteries…
- l'implantation par atelier, discontinu. Dans ce type d'implantation, les moyens sont regroupés par ateliers souvent rassemblés autour d'un métier. Les produits sont transportés d'un atelier à l'autre, entraînant des flux complexes. En revanche, ce type d'implantation est extrêmement flexible sur la variété des produits que l'on peut réaliser ;
- l'implantation par projet. Dans ce cas, le produit est en général fixe et ce sont les moyens qui sont transportés vers le projet. C'est le cas de la construction d'un bâtiment ou d'un avion.

Bien sûr, chacune de ces implantations a ses avantages et ses inconvénients. Des mixtes entre ces différentes approches peuvent être envisagés, et il reviendra au gestionnaire de production de faire le meilleur choix pour satisfaire les contraintes de flexibilité et de délai.

3.3. Classification selon la relation avec le client

Dans la classification selon la relation avec le client, on distingue trois types de production et de vente :

- la production puis vente sur stock ;
- la production à la commande ;
- l'assemblage à la commande.

3.3.1. Production puis vente sur stock

Le client achète des produits existant dans le stock créé par l'entreprise. On retient ce type de production pour deux raisons principales :

- lorsque le délai de fabrication est supérieur au délai de livraison réclamé ou accepté par le client (poste de radio, vêtement de confection…). Il faut alors produire à l'avance pour satisfaire le client en s'appuyant sur des prévisions ;
- pour produire en grande quantité et ainsi diminuer les coûts (tirage d'un livre en 5000 exemplaires).

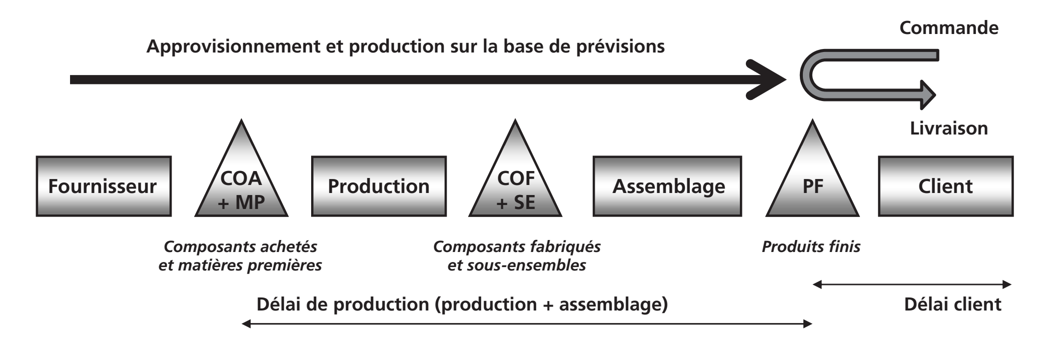


Figure 1.5 – Production puis vente sur stock

3.3.2. Production à la commande

La production à la commande n'est commencée que si l'on dispose d'un engagement ferme du client. On évite alors (sauf cas d'annulation), le stock de produits finis. Ce type de production est préférable au type « vente sur stock », car il conduit à une diminution des stocks, donc des frais financiers. Ainsi aura-t-on tout intérêt à choisir ce type de production lorsque cela sera possible, c'est-à-dire lorsque le délai de mise à disposition correspondant au délai de production est accepté par le client. Cette organisation est obligatoire pour les produits non standards.

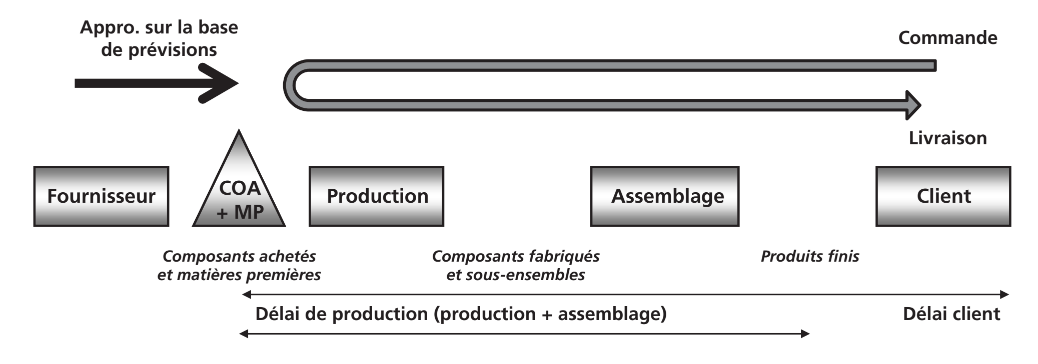


Figure 1.6 – Production à la commande

3.3.3. Assemblage à la commande

Ce type de production se situe entre les deux premiers. On fabrique sur stock des sous-ensembles standards. Ces sous-ensembles sont assemblés en fonction des commandes clients. Cette organisation donne la possibilité de réduire de façon importante le délai entre la commande et la livraison d'un produit. En

effet, le délai apparent est réduit à l'assemblage des sous-ensembles. Cette organisation réduit la valeur des stocks et permet de personnaliser les produits finis en fonction des commandes clients (personnalisation au plus tard).

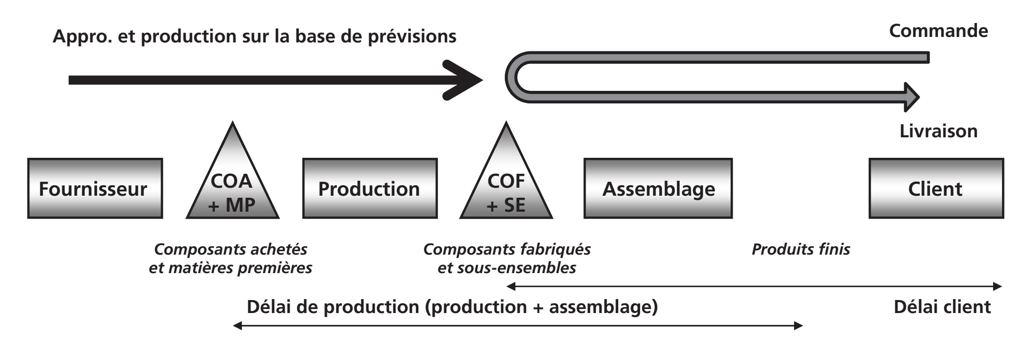


Figure 1.7 – Assemblage à la commande

3.3.4. Comparaison sur stock/à la commande

Il est évident qu'une entreprise a tout intérêt à ne produire que ce qui lui est commandé. Pour cela, il faut que son délai de production soit inférieur au délai acceptable par le client. Si le délai client est trop court pour pouvoir produire à la commande, alors on s'orientera vers l'assemblage à la commande ou, en dernier ressort, vers la production puis vente sur stock.

Exemples de délai acceptable :

- boîte de petits pois, délai 0 semaine ;
- cuisine équipée, délai 6 semaines ;
- automobile, délai 8 semaines.

L'entreprise iTechMedia

L'entreprise **iTechMedia** est une entreprise (créée de toutes pièces pour les besoins pédagogiques de cet ouvrage) qui fabrique trois modèles de baladeurs multimédias le modèle 120 Go, le modèle 250 Go et le modèle 500 Go. Lors de la conception, le bureau d'études a standardisé au maximum les composants constitutifs des baladeurs, ainsi le boîtier inférieur, le couvercle supérieur, l'écran tactile, les écouteurs, la documentation et l'emballage sont-ils identiques pour les trois modèles.

Les disques durs, les cartes électroniques, les écrans, les écouteurs, la matière plastique, les emballages ainsi que les documentations sont achetés auprès de différents fournisseurs. La figure 1.8 présente la composition des baladeurs et les fournisseurs de l'entreprise.

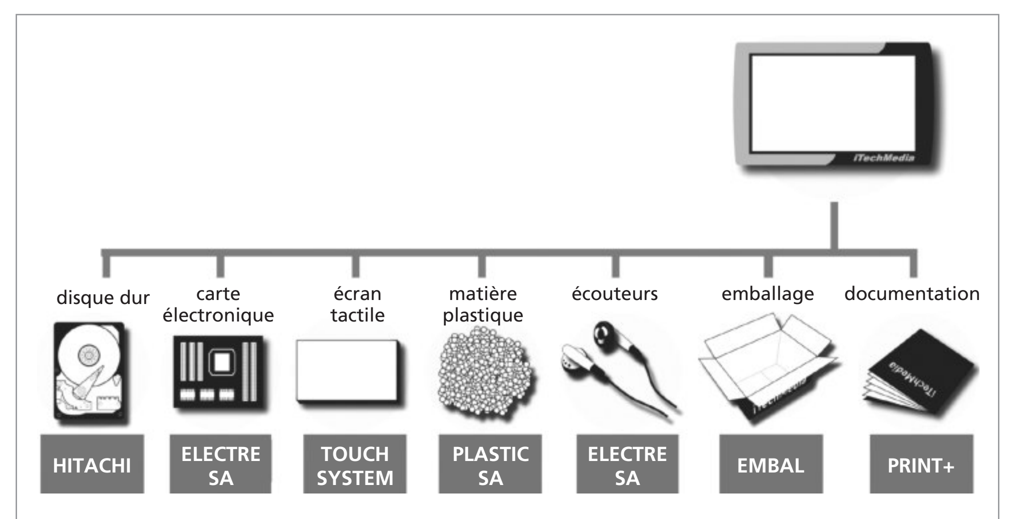


Figure 1.8 – Composition des baladeurs multimédias iTechMedia

En termes de processus de fabrication, l'entreprise réalise le boîtier inférieur ainsi que le couvercle supérieur par injection de matière plastique. Les couvercles supérieurs sont ensuite envoyés chez un sous-traitant pour le marquage (décoration). Après assemblage des baladeurs, ceux-ci sont emballés dans un carton avec une documentation.

La figure 1.9 présente le schéma opératoire qui résume l'ensemble des opérations élémentaires liées à la fabrication des baladeurs multimédias.

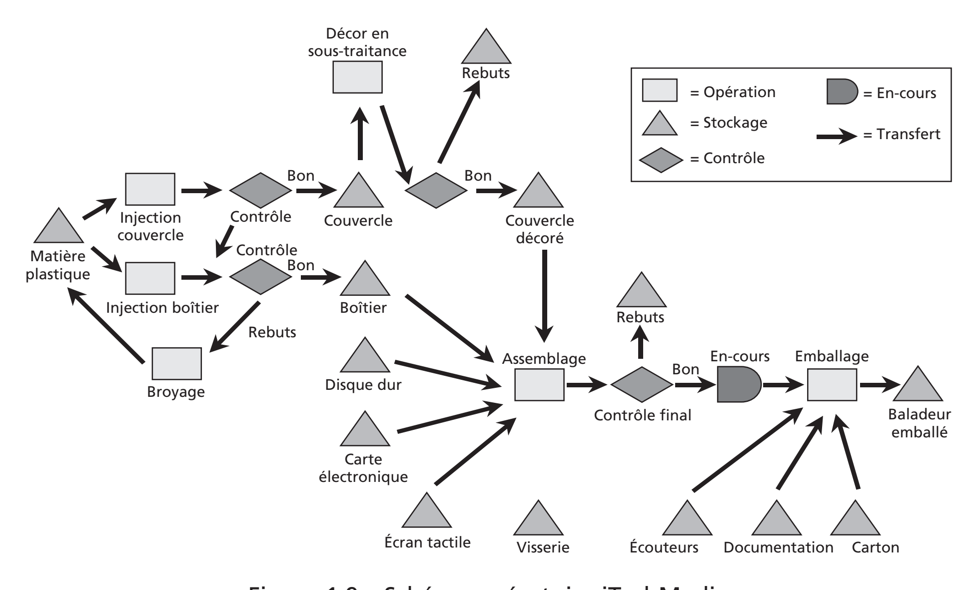


Figure 1.9 – Schéma opératoire iTechMedia

L'entreprise est structurée actuellement de façon plutôt traditionnelle. Elle possède un atelier d'injection plastique, un atelier d'assemblage, un laboratoire de contrôle et un atelier de conditionnement.

L'atelier d'injection fabrique le boîtier inférieur et le couvercle supérieur des baladeurs à partir de matière plastique.

L'atelier d'assemblage réalise les baladeurs à partir des différents composants approvisionnés (disque dur, carte électronique, écran tactile) et des composants fabriqués (boîtier inférieur, couvercle supérieur décoré). Un test des baladeurs est ensuite réalisé dans le laboratoire de contrôle. L'atelier de conditionnement emballe les baladeurs dans un carton avec une documentation, et deux paires d'écouteurs.

La figure 1.10 montre la disposition des locaux.

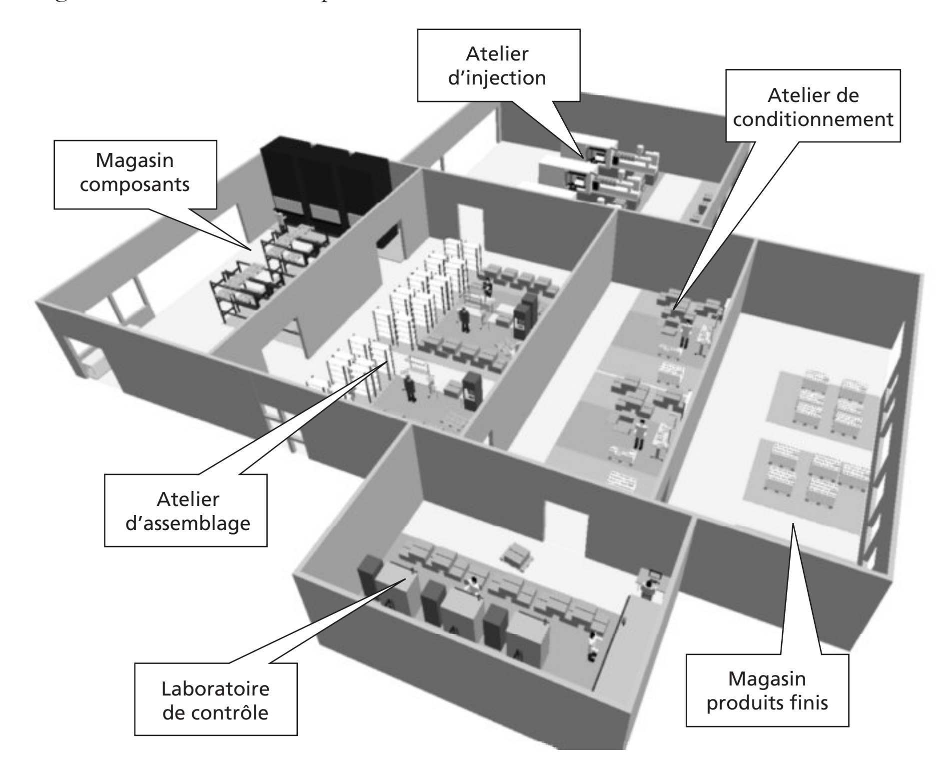


Figure 1.10 – Usine iTechMedia

Le lecteur retrouvera l'usine **iTechMedia** dans de nombreux chapitres. Le chapitre 2 (Données techniques) abordera la codification des articles gérés par l'entreprise **iTechMedia** ainsi que les nomenclatures, les postes de charge et les gammes de fabrication.

Le chapitre 3 (Gestion des stocks) abordera la gestion des consommables de cette entreprise. Le chapitre 5 (Planification détaillée) montrera le processus de planification des approvisionnements et de la fabrication de tous les articles de l'entreprise. Le chapitre 7 (Planification globale) illustrera la mise en place d'un plan industriel et commercial chez **iTechMedia**. Le chapitre 8 (Chaîne logistique globale) montrera comment **iTechMedia** souhaite s'organiser pour distribuer ces baladeurs dans toute l'Europe. Le chapitre 9 (Gestion de projet) illustrera l'utilisation de la gestion de projet dans le cas de la mise au point d'un nouveau baladeur. Le chapitre 12 (Les principaux outils du *Lean*) permettra de voir comment l'entreprise **iTechMedia** a cartographié son organisation actuelle, et quels chantiers d'amélioration elle propose de mener afin d'accélérer ses flux de production et sa réactivité pour rester dans ce marché très concurrentiel des produits électroniques grand public.

4. Conclusion

Quel que soit son secteur d'activité (mécanique, plastique, alimentaire, bois…), l'entreprise a besoin d'une gestion de production résolument moderne et efficace qui se traduit par la mise en œuvre de nouveaux principes de gestion de production, l'implication, la formation des acteurs de l'entreprise et la mise en œuvre de technologies.

Si l'on cherche à hiérarchiser la démarche d'évolution de la gestion de production, on peut dire que l'on doit :

- se fixer une stratégie d'excellence industrielle ;
- en déduire les principes de gestion (tension des flux, qualité totale, planification) ;
- définir les méthodes appropriées (MRP2, Kanban…) ;
- définir les outils appropriés (SMED, SPC, ERP…).

Ces quatre axes de travail doivent découler les uns des autres et être cohérents entre eux, ce qui n'est pas simple à réaliser.

Ils doivent par ailleurs s'intégrer dans la stratégie globale de l'entreprise qui impose généralement avant tout la satisfaction des clients, clients intermédiaires et client final. Cela se traduit par :

- de bons produits ;
- une bonne organisation de la production ;
- un bon système de fabrication ;
- une bonne gestion ;
- une bonne fonction commerciale.

Nous venons de définir les points clés du fonctionnement de l'entreprise. N'en restons pas au temps où les commerciaux pestaient contre l'incompétence des techniciens qui eux-mêmes accusaient les mauvais fournisseurs et les mauvais commerciaux, qui eux-mêmes parlaient d'exigences excessives au niveau des clients…

L'objectif de cet ouvrage est de donner une idée générale ainsi que les bases des méthodes et techniques actuelles rencontrées dans la fonction gestion de production, et surtout de faire prendre conscience au lecteur de la philosophie générale de l'organisation de la production qui, plus que de techniques ou de recettes, a besoin d'un esprit…

Nous avons fait le choix de séparer l'ouvrage en deux grandes parties :

- la première, constituée des chapitres 2 à 10, nous permet d'aborder les méthodes de base en gestion de la production (gestion des stocks, planification, pilotage, logistique globale), méthodes qui reposent toutes, peu ou prou, sur la mise en place d'outils informatiques ;
- la seconde, constituée des chapitres 11 à 14, nous permet d'aborder l'amélioration industrielle avec la philosophie du *Lean Manufacturing* et ses différents outils (SMED, 5S, VSM, etc.).

Il est bien évident aujourd'hui que les logisticiens industriels doivent connaître, appliquer et maîtriser les deux approches pour aider leur entreprise à rester dans la compétition mondiale.

Chapitre 2

Données techniques

1. Introduction

La gestion de production a pour objectif la maîtrise des flux physiques. Pour atteindre cet objectif, elle s'appuie sur un système d'information (SI) qui donne une image virtuelle de la réalité physique de l'entreprise. Tout système d'information doit d'une part fournir aux gestionnaires l'information nécessaire à leurs tâches, d'autre part alimenter le système d'information et d'aide à la décision (SIAD) qui donne aux dirigeants une vue d'ensemble sur le fonctionnement de l'entreprise (organisation), sa position par rapport aux objectifs, ainsi que sur les principaux risques.

La maîtrise du flux physique, but de la gestion de production, ne pourra être réalisée que par la maîtrise du flux informationnel. La gestion de production est donc une fonction de l'entreprise en perpétuelle communication avec toutes les autres fonctions. Cette communication s'établit au travers de relations directes entre les individus, mais aussi au moyen d'informations et de documents que supportent les données techniques.

Les données nécessaires pour gérer la production sont de plusieurs types :

- des données décrivant les produits et leurs composants, la manière de les fabriquer, les ressources humaines et matérielles internes à l'entreprise ou externes à l'entreprise (clients, fournisseurs). Ces données sont relativement stables et n'évoluent qu'à la création ou à la modification des produits, des processus ou des ressources ;

- des données nécessaires à l'accompagnement de l'activité de production, conduisant aux lancements en fabrication, aux commandes adressées aux fournisseurs… Ces données évoluent en permanence avec l'activité de l'entreprise ;
- des données historiques résultant de l'activité passée. On peut ainsi contrôler et analyser cette activité et affiner les données stockées.

Toutes ces données techniques sont fondamentales, car elles renferment le savoir-faire et la mémoire de l'entreprise. Même une minuscule entreprise a toujours des données techniques… qui éventuellement ne sont pas formalisées et qui figurent dans un petit carnet ou dans la tête du dirigeant et du personnel !

Si nous suivons chronologiquement l'histoire d'un produit nous rencontrons les fonctions suivantes :

- la fonction marketing qui établit le cahier des charges des produits à développer en fonction des études de marché et des analyses prospectives ;
- la fonction études dont le but est la mise au point de produits nouveaux et l'amélioration des produits existants en vue de leur production par l'entreprise ;
- la fonction méthodes qui va permettre l'industrialisation et se trouve à la charnière entre la conception et la réalisation des produits ;
- la fonction production dont le but est de fabriquer et d'assembler les produits que l'entreprise vendra ;
- la fonction commerciale qui est chargée de vendre les produits, ce qui impliquera, outre la distribution des produits, des aspects de marketing et de prévisions des ventes.

Nous allons décrire succinctement les fonctions de l'entreprise qui créent des documents, supports de données techniques, en amont de la gestion de production. Il ne s'agira pas d'un panorama exhaustif, mais avant tout d'une présentation des données utiles pour la gestion de production.

2. Fonctions et documents

2.1. La fonction études

Une entreprise, pour être performante, doit innover sans cesse. Sous la pression des clients et de la concurrence, les produits ont une durée de vie (présence au catalogue) de plus en plus courte, et il faut alors continuellement que l'entreprise se remette en cause. On estime qu'une entreprise qui veut

assurer son avenir doit réaliser 40% de son chiffre d'affaires avec des produits nouveaux. Cette fonction est généralement remplie par le bureau d'études et les services recherche et développement lorsqu'ils existent.

Cette fonction doit avoir le souci permanent d'étudier chaque produit ainsi que chacun de ses éléments dans une optique de fonctionnalité, de fiabilité, de maintenance et de recyclage aisés. Elle doit également y intégrer les innovations techniques, mais avec une idée de standardisation et de facilité de production propre à la philosophie de production au plus juste. La conception d'un produit – on le voit immédiatement – ne peut se faire dans l'isolement du bureau d'études sans collaboration avec les autres fonctions.

La collaboration se fera tout d'abord avec le marketing, afin de répondre à l'attente des clients. Cette attente peut être explicite ou traduire un besoin non exprimé qu'il faudra mettre en évidence. Le passé récent regorge d'exemples de ce type : baladeur MP3, imagerie numérique, communications portables, nouveaux plats cuisinés…

La collaboration avec les services techniques et la production est indispensable pour des techniques particulières (injection plastique, fonderie…), mais dans tous les cas afin de concevoir rapidement des produits faciles à fabriquer. Aujourd'hui le cycle d'étude et de mise au point des produits doit être de plus en plus court, et seule une collaboration étroite avec les services méthodes et production dès la conception l'autorise. Hier, il fallait cinq ans pour étudier et mettre au point une nouvelle fixation de ski ; aujourd'hui, il faut trois ans, et demain, un an suffira.

Le document type en entrée fourni par le marketing est le cahier des charges. Il explicite les fonctions et caractéristiques techniques du produit à concevoir. Il permet également de spécifier les conditions d'emploi et les quantités à réaliser, c'est-à-dire les particularités permettant d'effectuer les choix techniques.

Les documents élaborés par le bureau d'études sont les suivants :

- le plan d'ensemble ou dessin d'ensemble, qui définit le produit conçu tel qu'il se présentera devant le client, avec une nomenclature des constituants de base du produit ;
- la nomenclature de bureau d'études, qui donne chaque élément constituant le produit, identifié et décrit de façon sommaire. Nous verrons plus loin comment se situe la nomenclature de gestion de production par rapport à celle-ci ;
- les plans de détail ou dessins de définition, qui explicitent toutes les formes et dimensions nécessaires à l'exécution des pièces de l'ensemble ;

- l'identification des articles constituant l'ensemble. Il peut s'agir d'articles déjà existants, donc possédant déjà un code, ou d'articles nouveaux pour lesquels il faudra créer un code.

2.2. La fonction méthodes ou industrialisation

La fonction méthodes a pour finalité de permettre de passer d'un plan ou d'une idée à un produit, et même le plus souvent à des milliers de produits. Il s'agit de l'industrialisation du produit. Nous évoquons là, la différence fondamentale entre artisanat et industrie. Dans le premier cas, deux produits ne sont jamais totalement identiques, ce qui fait la richesse du produit artisanal. En revanche, l'industriel doit être capable de reproduire facilement et d'une manière économique de nombreuses fois un produit. L'industrialisation doit expliciter la manière de réaliser cela en limitant la dispersion entre deux produits. Outre ces objectifs techniques et économiques, la fonction méthodes a des objectifs humains. En effet, la réalisation des processus et la conception des postes de travail, notamment leur ergonomie, pourront conduire à des postes pour opérateurs « pensants », sollicitant leur réflexion et pas seulement leurs muscles.

À court terme, la fonction méthodes effectue la préparation technique du travail de production : définition et mise à jour des gammes de fabrication ou d'assemblage, dessin et étude de pièces et outillages nécessaires, tenue des fichiers outillages, machines, coûts par poste… À moyen terme, son rôle comprend l'amélioration des procédés, la simplification des produits et de leur fabrication, l'amélioration des postes de travail et de leur implantation. À plus long terme, afin de conserver ou d'obtenir une avance sur la concurrence, la fonction méthodes est amenée à définir les moyens nécessaires à la réalisation des nouveaux produits, à apporter des innovations dans les procédés existants, à analyser et à chiffrer les investissements nécessaires.

Pour effectuer sa tâche, la fonction méthodes utilise les documents produits par la fonction études (plans, nomenclatures, articles), les données technologiques existantes notamment en matière de moyens de production (personnel qualifié et machines) et les procédés connus.

La fonction méthodes va élaborer les gammes. La gamme définit la succession des opérations à effectuer comme le fait une recette de cuisine. Il s'agit donc d'une suite ordonnée des différentes phases d'un processus. Une gamme peut être définie pour tout type de travail (fabrication, usinage, assemblage, contrôle et même manutention pour des pièces difficiles à déplacer ou à positionner).

Le management des connaissances (KM : *Knowledge Management*) demande également au service méthodes la génération de nombreux documents supports de production, permettant de garantir la performance de l'entreprise au travers des cinq critères : qualité, délais, coûts, sécurité, environnement tels que :

- la fiche de poste décrivant les opérations à réaliser ;
- les instructions de poste décrivant la procédure d'utilisation d'un moyen.

2.3. La fonction gestion de production

La fonction gestion de production, largement développée dans cet ouvrage, se trouve à l'interface de très nombreux processus de l'entreprise. Elle manipule de nombreuses informations et produit également plusieurs documents.

La commande fournisseur (ou ordre d'approvisionnement = OA) qui permet de réapprovisionner un composant ou une matière première.
Celle-ci comprend :

- le code article (et éventuellement la codification article du fournisseur) ;
- la quantité à livrer ;
- le nom et l'adresse du fournisseur ;
- la date de livraison.

L'ordre de fabrication (ou OF) qui permet de déclencher la fabrication d'un article. Celui-ci comprend :

- le code article ;
- la quantité à fabriquer ;
- le code de la gamme à utiliser ;
- la date de fin de fabrication.

Cet ordre de fabrication est associé à un dossier de fabrication qui accompagnera les produits au cours de leur évolution dans l'atelier. Il est composé de différents documents :

- le bon de sortie de magasin ou liste à servir permet d'obtenir les matières et composants nécessaires à la production en indiquant les qualités et quantités à délivrer par le magasin ;
- les bons de travaux décrivent le travail à réaliser sur un poste donné. Ils reproduisent le libellé et le mode opératoire de la phase considérée de la gamme. Ils servent au suivi technique (retour d'information) et administratif (comptabilité analytique) ;

- la fiche suiveuse, comme son nom l'indique, suit les pièces d'un lot en fabrication. Elle va récapituler l'historique de la réalisation des pièces et donner un compte rendu d'exécution des différentes phases.

3. Généralités sur les données techniques

La gestion de production doit gérer d'une part, les produits, composants et matières premières et d'autre part, les charges et capacités.

Dans l'introduction, nous avons groupé les données nécessaires à la gestion d'une production en trois familles que nous allons préciser :

- les données de base décrivant le système de production et les produits (fichiers articles, nomenclatures, sections, postes de charges, gammes, outillages et fichiers fournisseurs, clients et sous-traitants) ;
- les données d'activité évoluant avec l'activité de l'entreprise (stocks et en-cours, commandes clients, commandes fournisseurs, ordres de fabrication…) ;
- les données historiques résultant de l'activité passée (ordres de fabrication clos, commandes soldées, coûts de revient, livraisons réalisées, mouvements de stocks…).

Un point facile à comprendre, mais fondamental, est la nécessité d'exactitude des données techniques. En effet, c'est sur celles-ci que va reposer toute la gestion de la production : des valeurs erronées ne peuvent conduire qu'à une planification ou programmation irréalistes et à des ennuis à l'exécution. Nous préciserons en fin de chapitre quel est le niveau requis pour une gestion de bon niveau.

Nous commencerons par présenter les cinq fichiers de base de la gestion de production : les fichiers articles, nomenclatures, sections, postes de charge et gammes puis nous aborderons les autres données.

4. Articles

4.1. Définitions

Un article est un produit de l'entreprise ou un élément entrant dans la composition d'un produit, que l'on veut gérer. C'est un terme général correspondant à un produit fini, à un sous-ensemble, à un composant ou à une matière première.

Il y a création d'une fiche ou enregistrement d'un article, chaque fois que l'on veut gérer un tel élément : demande externe par les clients de produits ou de

pièces de rechange, équilibre interne de la demande et de la production ou de l'approvisionnement, reliquats de production ou retours des clients, regroupements d'articles…

Il s'agit le plus souvent d'articles ayant une existence physique, mais on peut également créer des articles fictifs ou fantômes. Ceux-ci permettent, par exemple, de représenter des sous-ensembles en état transitoire non physiquement stockés mais incorporés immédiatement dans un produit, des sous-ensembles non stockés entrant dans la composition de plusieurs produits, des groupes de pièces utilisées ensemble comme des éléments d'un emballage…

Les données liées aux articles constituent la base de tout le système de gestion de production et le fichier « Articles » est donc le premier à construire.

4.2. Données articles

Un enregistrement article comprend :

- une référence ou un code constituant une relation biunivoque entre l'article et le code. Un seul code doit correspondre à un seul article et réciproquement. Nous verrons ci-après comment choisir les codes ;
- une (ou plusieurs) désignation(s) donnant l'appellation en clair de l'article. Il y a intérêt à normaliser les désignations à l'intérieur de l'entreprise en choisissant structuration et vocabulaire utilisés. Dans le cas de plusieurs désignations, elles peuvent être exprimées en langues étrangères ou adaptées à certains clients ;
- le type de l'article : produit fini, article fabriqué, article acheté, article fantôme ;
- des données de classification utilisées pour des tris (familles, sous-familles, catégories liées au stockage ou à la matière, code ABC…) ;
- des données de description physique (couleur, matière, masse, forme…) sous forme libre ou structurée ;
- des données de gestion comme lot de lancement ou commande, article de remplacement, référence du gestionnaire, référence du ou des fournisseurs pour un article acheté, code de la gamme de fabrication pour un article fabriqué, stock minimal de déclenchement, délai d'obtention, lieu de stockage (magasin, emplacement)… C'est également ici que l'on trouve un éventuel coefficient de perte destiné à compenser la perte prévue pendant le cycle de fabrication de l'article, et qui s'applique à toutes les utilisations de l'article (différent du coefficient de rebut d'un lien de nomenclature que nous verrons au paragraphe 5.8.) ;

- des données économiques indiquant des prix et coûts standards selon les besoins de l'entreprise.

Le délai d'obtention (cf. figure 2.1) est un paramètre très important car celui-ci va permettre en fonction d'un besoin futur, de déterminer la date de lancement de l'ordre de fabrication ou de l'ordre d'approvisionnement. Il faut donc estimer ce délai d'obtention de façon à ce qu'il ne soit ni trop court ni trop long par rapport au vrai délai d'obtention habituellement constaté.

Dans le cas des produits fabriqués, il ne faut pas négliger les temps d'attente qui représentent parfois jusqu'à 90% du délai. Les temps opératoires représentent parfois moins de 1% du délai.

Pour les articles achetés, le délai d'obtention est constitué du délai indiqué par le fournisseur (en prenant, dans le doute, une petite marge de sécurité), de la durée de traitement et de transmission de la commande au fournisseur et des durées des contrôles de réception et des stockages en magasin.

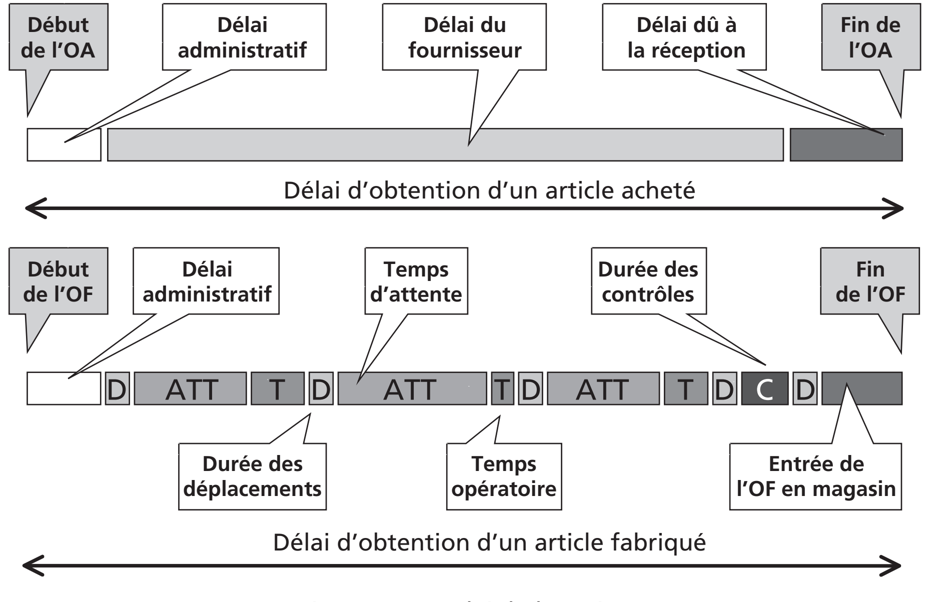


Figure 2.1 – Délai d'obtention

4.3. Codification des articles

La codification des objets utilisés en gestion de production concerne tous les fichiers de données, mais le système de codification primordial est celui concernant les articles. C'est donc la codification des articles que nous étudierons plus précisément.

La manipulation dans l'entreprise de milliers ou dizaines de milliers d'articles rend impossible leur identification par la seule désignation. Le but de la codification est de passer du langage naturel trop long et imprécis, à un langage symbolique court et précis. Elle permet une rationalisation et une homogénéisation de l'information indispensable à son traitement informatique. Le code constitue la clé d'accès à l'enregistrement d'un article.

Les règles pour assigner le code article doivent être claires et comprises de toutes les personnes qui les manipulent. Par ailleurs, un changement du système de codification est une action lourde et coûteuse pour une entreprise (réétiquetages, transcodification…). Il est donc indispensable de penser et choisir un système adapté aux objectifs attendus, et d'une durée de vie suffisante.

Un système de codification doit être :

- précis et discriminant. Comme nous l'avons vu précédemment (paragraphe 4.2.), chaque article doit avoir un code et un seul. Il doit permettre de différencier facilement les diverses variantes d'un article (par exemple, deux pièces de même forme mais de couleurs différentes) ;
- souple, c'est-à-dire permettre facilement l'introduction de nouveaux codes sans détruire la logique du système de codification (croissance du nombre d'articles au total ou dans une classe, croissance du nombre de classes). Ceci permettra sa pérennité ;
- stable dans le temps (qualité reliée étroitement à la précédente), car un changement de système de codification est une opération lourde à effectuer pour l'entreprise ;
- homogène, c'est-à-dire comporter le même nombre de caractères (chiffres ou lettres), avoir même structure et composition afin de diminuer les risques d'erreurs, notamment dus à des reports incomplets ;
- simple, pour être facile à utiliser, donc pas trop long, découpé en champs homogènes, séparés ou non par des espaces, avec un mélange pas trop important de la nature des champs.

Les exemples du paragraphe précédent peuvent être classés en trois catégories :

- codification significative ou analytique ;
- codification non significative ou séquentielle ;
- codification mixte.

4.3.1. Codification significative ou analytique

Dans une codification de ce type, chaque champ a pour but de décrire une caractéristique de l'objet (matière première, sous-ensemble… article acheté ou fabriqué, catégorie ou classe selon divers critères, caractéristiques physiques comme longueur, diamètre, couleur…). Finalement, le code décrit l'article selon les critères choisis. La structuration du code est soit la juxtaposition, dans un ordre prédéfini, de champs indépendants, soit un ensemble hiérarchique arborescent (par exemple pour un poste de charge : section, sous-section, machine).

Avantages	codes faciles à retenir (au début) possibilité de classification
Inconvénients	codes peu flexibles donc difficilement évolutifs pérennité difficile à assurer codes souvent longs gaspillage de stockage informatique

4.3.2. Codification non significative ou séquentielle

Dans ce type de codification, le code est en général numérique, homogène et sans signification. Il peut être attribué d'une manière aléatoire en fonction d'une liste préétablie, sans corrélation entre les éléments. Il peut également être attribué d'une manière séquentielle, les objets étant enregistrés les uns derrière les autres au moment du besoin. Il y a alors corrélation entre le code et l'ordre de création.

Avantages	création rapide du code code court utilisation maximale du système pérennité
Inconvénients	risque de double utilisation d'un code pas de possibilité de regroupement ou classement difficile à retenir risque d'erreur lors de la saisie

4.3.3. Codification mixte

Les codes comprennent une partie non significative et une partie composée d'un ou de plusieurs champs significatifs. C'est, en général, le type de codification choisi par les entreprises pour l'identification des articles. Il faut être

vigilant lors du choix de la partie significative pour ne pas entraver une évolution future non prévue au départ.

Exemples de code mixte :

- **F091245.01** (F = division : significatif, 091245 = numéro article : séquentiel, 01 = version : séquentiel avec chronologie utile).
- **PF000003** (PF = type du produit : significatif, 000003 numéro article : séquentiel).

4.3.4. Prévention et détection des erreurs

Les erreurs sont difficiles à éviter totalement au moment des opérations de codification, de saisie ou de communication des codes, que ce soit par intervention humaine ou même par saisie automatique (lecture optique d'un code-barres). Ces erreurs peuvent avoir des conséquences lourdes, et il faut mettre en place des systèmes de prévention et de détection pour réduire au mieux ces erreurs.

La prévention consiste à éviter la confusion dans l'acquisition et la transmission des codes. Quelques règles simples améliorent les choses : choisir des champs courts ou segmentés (461845), éviter par exemple les lettres O, Q, i, I faciles à confondre respectivement avec 0, 1), éviter les consonances voisines lors de transmissions orales (B et P, D et T), se méfier des zéros à ne pas oublier (023045 = zéro vingt-trois, zéro quarante-cinq)…

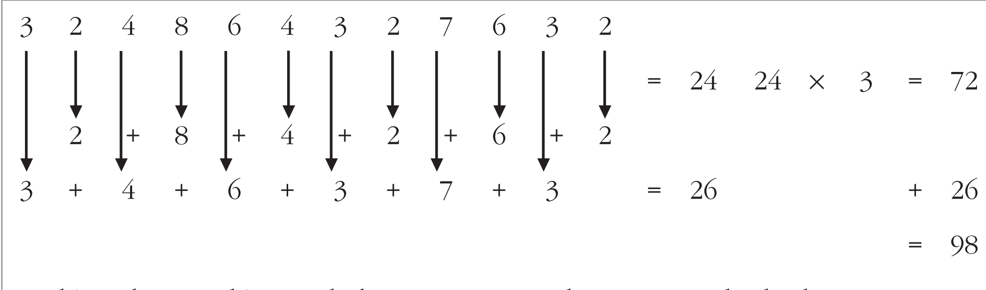
Pour éviter des saisies manuelles fastidieuses et pour limiter le risque d'erreur lors de telle saisie, on utilise de plus en plus des systèmes de saisie automatique des codes à partir de code-barres et de lecteur de code-barres.



Figure 2.2 – Lecteur code-barres

Si malgré les précautions précédentes des erreurs se produisent, leur détection est capitale. On la réalise déjà d'une manière élémentaire en affichant par exemple sur l'écran informatique la désignation en clair de l'article. En outre,

les programmes informatiques doivent posséder des tests de vraisemblance au moment de la saisie (par exemple, la tentative de création d'un lien de nomenclature avec des articles non définis doit être rejetée). Le moyen le plus efficace est de juxtaposer au code que l'on souhaite attribuer, une clé de contrôle qui sera intégrée à son extrémité. On applique aux caractères (si certains sont des lettres, on leur substitue des valeurs numériques adéquates) du code un ensemble d'opérations (+, –, ×, :), et on calcule le reste de la division par un nombre ; c'est ce qui reste qui sert de clé de contrôle. On peut, par exemple, simplement diviser la somme des caractères du code initial par un nombre, le reste de la division donnant la clé (un chiffre pour une division par 10, une lettre pour une division par un nombre inférieur à 26…). On peut également utiliser une méthode un peu plus élaborée qui permet de déceler des permutations sur deux positions voisines : cas de la clé du code EAN 13 (figure 2.3).



La clé est le complément de la somme pour obtenir un multiple de 10.
Ici la clé est : 100 – 98 = 2

Figure 2.3 – Calcul de la clé du code EAN 13

4.3.5. Code article de documentation

À chaque article est attachée une documentation : dessins techniques, gammes, nomenclatures, études de postes… La création et la maintenance de cette documentation liée au produit sont d'une extrême importance car elles contiennent souvent le savoir-faire de l'entreprise. La référence de l'article est l'élément permettant de gérer cette documentation. Afin de bien pouvoir jouer ce rôle, il faut en particulier que le code puisse refléter les évolutions successives de l'article. Dans ce but, on introduit en fin de code un ou plusieurs caractères indiquant la version.

La gestion des différentes versions doit être tenue de façon rigoureuse, notamment par l'intermédiaire d'un document tenant un historique des évolutions (numéro de révision, autorité ayant pris la décision, description de la révision, date de la révision).

4.3.6. Règle d'interchangeabilité des articles

Il est important de définir les règles définissant si deux articles différents, mais remplissant les mêmes fonctions au même coût, doivent porter des références différentes, ou la même. C'est un choix de l'entreprise. Généralement, on applique la règle suivante : lorsque deux articles composants sont parfaitement interchangeables dans l'insertion de l'article-parent sans différence de coût et de qualité, on adopte la même référence. C'est le cas notamment d'articles standards, comme les joints ou les boulons achetés chez des fournisseurs différents.

4.4. Exemple des produits iTechMedia

Dans le chapitre 1 nous avons présenté l'entreprise **iTechMedia** qui fabrique des baladeurs multimédias. Voici ci-dessous la liste des articles qui sont gérés dans cette entreprise :

Code	Désignation	Unité de gestion	Type	Délai	Lot	Poids
PF120Go	Baladeur 120 Go emballé	Pièce	Produit fini	5j = 1s	x 400	510 g
PF250Go	Baladeur 250 Go emballé	Pièce	Produit fini	5j = 1s	x 400	535 g
PF500Go	Baladeur 500 Go emballé	Pièce	Produit fini	5j = 1s	x 400	560 g
Emb	Emballage	Pièce	Acheté	5j = 1s	10000 mini	25 g
Doc	Documentation	Carton de 100	Acheté	5j = 1s	x 25	75 g
B120	Baladeur 120 Go	Pièce	Fabriqué	5j = 1s	x 600	350 g
B250	Baladeur 250 Go	Pièce	Fabriqué	5j = 1s	x 600	375 g
B500	Baladeur 500 Go	Pièce	Fabriqué	5j = 1s	x 600	400 g
DD120Go	Disque dur 120 Go	Pièce	Acheté	30j = 6s	5000 mini	125 g
DD250Go	Disque dur 250 Go	Pièce	Acheté	30j = 6s	5000 mini	150 g
DD500Go	Disque dur 500 Go	Pièce	Acheté	30j = 6s	5000 mini	175 g
Carte 120	Carte électronique	Pièce	Acheté	15j = 3s	Lot/lot	50 g
Carte 250	Carte électronique	Pièce	Acheté	15j = 3s	Lot/lot	50 g
Carte 500	Carte électronique	Pièce	Acheté	15j = 3s	Lot/lot	50 g
Boîtier	Boîtier inférieur	Pièce	Fabriqué	5j = 1s	x 8000	40 g

Code	Désignation	Unité de gestion	Type	Délai	Lot	Poids
CouvD	Couvercle décoré	Pièce	Fabriqué	5j = 1s	x 1000	26 g
CouvB	Couvercle brut	Pièce	Fabriqué	5j = 1s	x 8000	25 g
MP	Matière plastique	Sac de 25 kg	Acheté	5j = 1s	Lot/lot/3s	25 kg
Écran	Écran tactile	Carton de 50	Acheté	10j = 2s	x 300	100 g
Ecout	Écouteur	Pièce	Acheté	5j = 1s	x 1000	30 g

Figure 2.4 – Liste des articles iTechMedia

Pour faciliter la compréhension future, les codes articles sont significatifs. L'unité de gestion « Pièce » indique que les articles sont gérés à l'unité. L'entreprise **iTechMedia** travaille 5 jours par semaine.

Les cartes électroniques comprennent une batterie intégrée et une connectique adaptée à chaque disque dur.

5. Nomenclatures

5.1. Définitions

Une nomenclature est une liste hiérarchisée et quantifiée des articles entrant dans la composition d'un article-parent. L'article-parent est le composé, les autres étant les composants. On appelle lien de nomenclature, la relation que l'on établit entre un composé et un composant. Chaque lien est caractérisé par un coefficient indiquant la quantité de composant nécessaire pour la réalisation d'un composé. Ce coefficient peut être entier ou non (× 1, × 1/100, × 0,12 m ou × 2,430 kg).

Dans l'exemple ci-dessous, le lien de nomenclature décrit la quantité de matière plastique qu'il faut pour réaliser un boîtier inférieur de baladeur multimédia **iTechMedia**. Le boîtier nécessite 40 g de matière plastique MP, mais la matière plastique est gérée par sacs de 25 kg. Avec un sac de matière plastique on peut donc fabriquer 625 boîtiers ; la fabrication de 1 boîtier entraînera la consommation de 1/625e de sac de matière plastique.

On voit qu'un lien de nomenclature dépend des unités de gestion des articles composés et composants. Si le boîtier était géré par carton de 50 et la matière plastique MP en kg alors la nomenclature aurait été celle de droite.

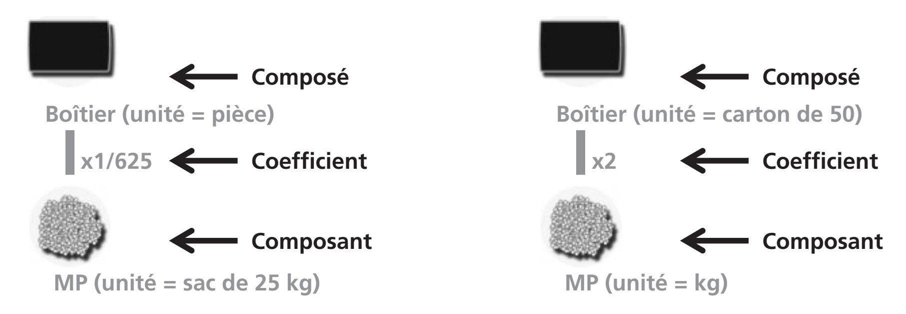


Figure 2.5 – Lien de nomenclature

Une nomenclature est ainsi un ensemble de liens. Considérons par exemple le baladeur multimédia 120 Go fabriqué par l'entreprise **iTechMedia**.

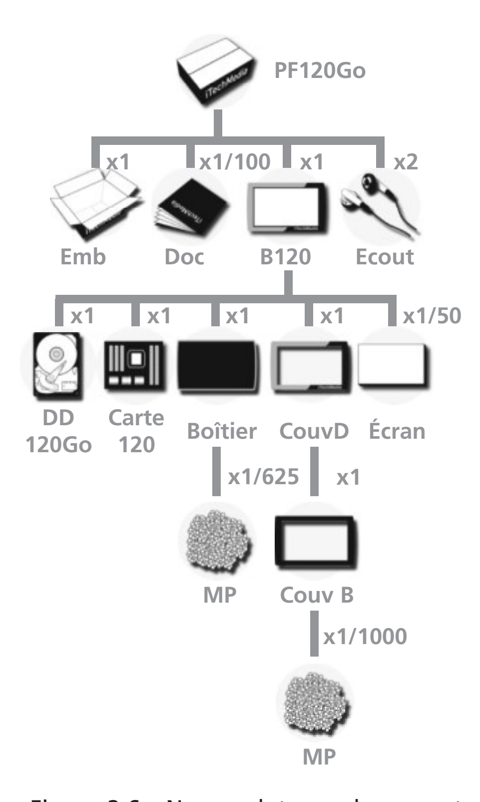


Figure 2.6 – Nomenclature arborescente

La nomenclature arborescente est très visuelle mais celle-ci prend de la place lorsque l'on veut la visualiser ou l'imprimer. C'est pourquoi les ERP ou GPAO préfèrent une représentation indentée, plus compacte.

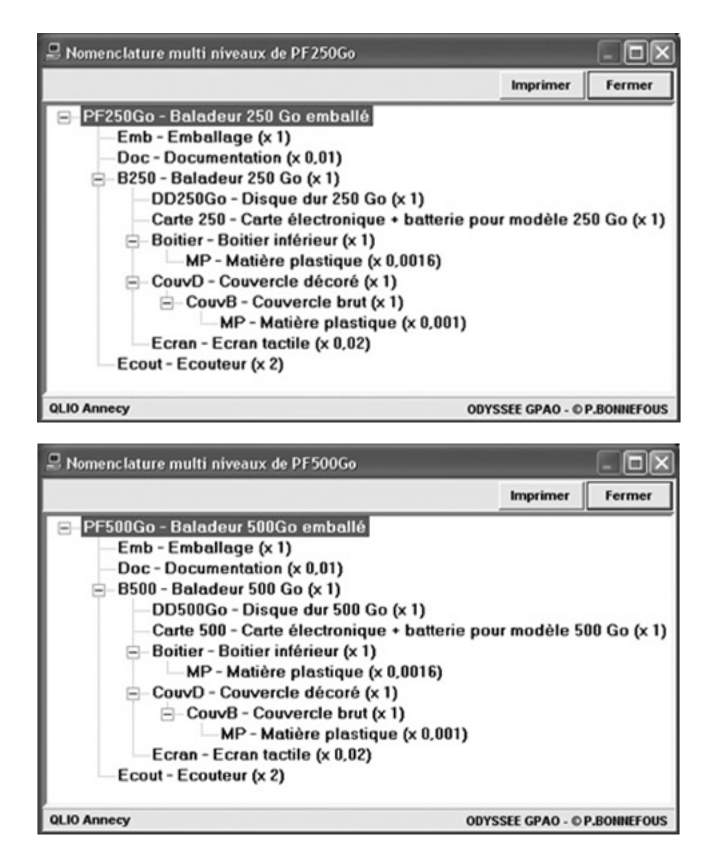


Figure 2.7 – Nomenclatures indentées des modèles PF250Go et PF500Go

5.2. Code de niveau

À chaque article géré par l'entreprise, il convient d'associer un code de niveau (indispensable pour le calcul des besoins que l'on verra dans le chapitre 5 : Planification détaillée). Par convention, on attribue aux produits finis le niveau 0 (ou 1, cela dépend des logiciels). Si un article apparaît à plusieurs niveaux différents, on applique la règle du plus bas niveau (cas de la matière plastique MP). De cette façon, le calcul des besoins n'est effectué qu'une seule fois, même si l'article apparaît plusieurs fois dans une nomenclature ou dans diverses nomenclatures. Par ailleurs, elle permet d'allouer le stock disponible pour cet article au plus tôt dans le temps et non pas au niveau le plus haut de la nomenclature. En effet, le calcul des besoins est réalisé niveau par niveau, et il est indispensable de rassembler tous les besoins d'un article à un même niveau.

Le tableau 2.8 explicite les niveaux des articles qui composent le baladeur **iTechMedia 120 Go**.

Niveau 0	PF120Go
Niveau 1	Emb, Doc, Ecout, B120
Niveau 2	DD120Go, Carte120, Boîtier, CouvD, Écran
Niveau 3	CouvB
Niveau 4	MP

Figure 2.8 – Niveaux des articles composants le baladeur 120Go

Le nombre de niveaux de nomenclature varie en fonction de la complexité des produits de l'entreprise. Une trop grande finesse de décomposition alourdit la gestion, alors qu'une décomposition trop succincte en limite les possibilités. Il faut surtout veiller à ne pas commettre l'erreur de créer des niveaux correspondant en fait à de simples étapes du processus, c'est-à-dire de confondre nomenclature et gammes, sauf s'il y a besoin de gérer un article intermédiaire. Pour la plupart des produits manufacturés, le nombre de niveaux est de trois à cinq. Les produits les plus complexes peuvent justifier de six à huit niveaux. Un nombre de niveaux supérieur à huit ou neuf correspond à la confusion indiquée ci-dessus qui survient notamment dans le cas d'assemblages importants.

5.3. Nomenclature multiniveaux ou mononiveau et cas d'emploi

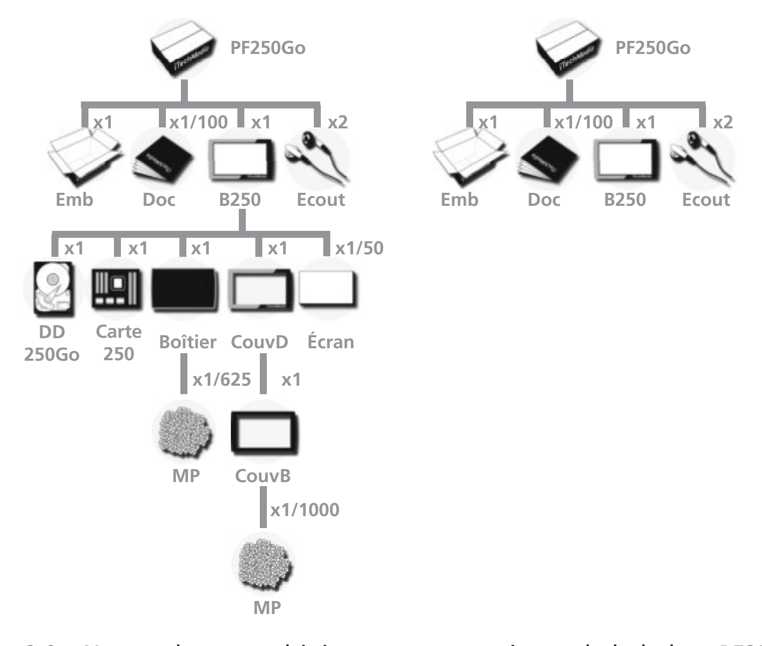


Figure 2.9 – Nomenclature multiniveaux et mononiveau du baladeur PF250Go

Dans une nomenclature multiniveaux tous les composants issus d'un composé sont représentés. Une nomenclature à un niveau ou mononiveau d'un composé de niveau *n* ne donne, au contraire, que les composants du niveau *n + 1* (voir figure 2.9).

Le cas d'emploi, comme son nom l'indique, explicite dans quel(s) composé(s) un article intervient. Il peut être multiniveaux ou mononiveau (figure 2.10).

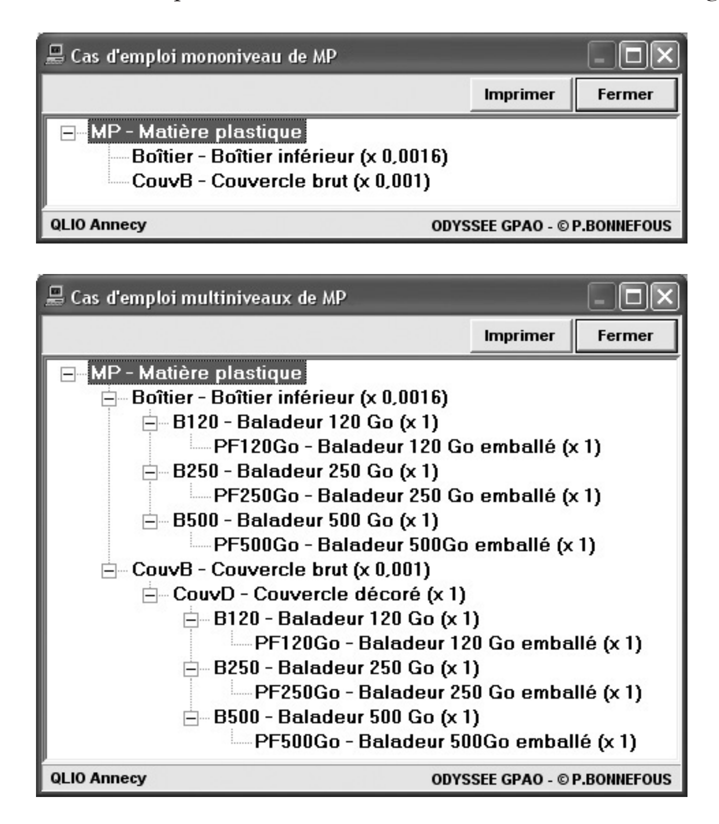


Figure 2.10 – Cas d'emploi de MP

5.4. Dates de validité dans une nomenclature

Les dates de validité associée à un lien de nomenclature permettent de planifier les évolutions dans la composition d'un produit ; qu'il s'agisse du remplacement d'un article par un autre ou alors de la modification du coefficient de nomenclature suite à un changement de procédés de fabrication, par exemple.

Si l'on prévoit, par exemple, que la documentation des baladeurs **iTechMedia** va évoluer (réécriture) et que compte tenu des stocks actuels de documentation, le changement devra se produire le 1er juin 2011, alors il est possible, dès maintenant, de planifier ce changement, en jouant sur les dates de validité.

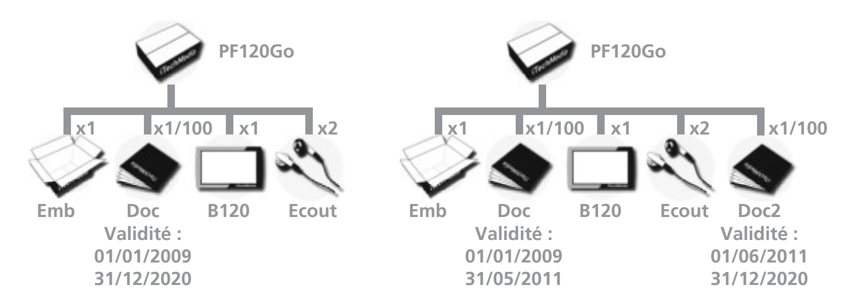


Figure 2.11 – Dates de validité

5.5. Gestion simplifiée des nomenclatures

Pour simplifier la gestion des nomenclatures (création puis modification), il est parfois utile d'ajouter des articles fictifs ou fantômes qui regroupent de façon fictive des composants qui vont toujours ensemble, sans pour autant former un composé physique. Pour chaque baladeur **iTechMedia**, il y a systématiquement un emballage (Emb) une documentation (Doc) et deux écouteurs (Ecout). Lors de la création des nomenclatures, cela nécessite la création de trois liens pour chaque produit fini (donc neuf liens ici).

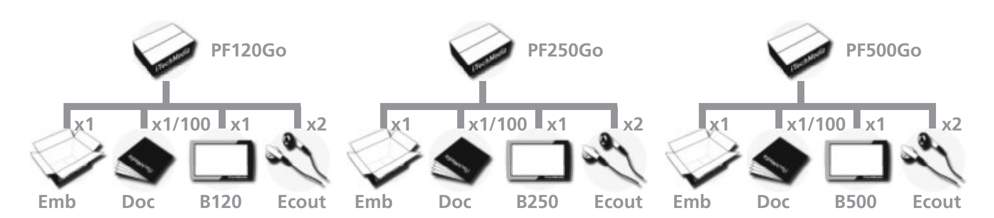


Figure 2.12 – Nomenclatures sans article fantôme

Pour créer les nomenclatures, il aurait été plus simple et plus rapide de créer un article fantôme (SET) qui regroupe les articles Emb, Doc, Ecout (création de trois liens) puis de relier l'article fantôme SET à chaque produit fini (trois liens seulement). Cela fait donc six liens au lieu de neuf. Si, au lieu d'avoir trois on avait dix produits finis différents, cela serait encore plus avantageux.

Lors de la modification d'une nomenclature, c'est encore plus intéressant. Imaginons que l'on souhaite remplacer les deux écouteurs par un seul à l'avenir. Avec l'article fantôme SET, il suffit de modifier un seul lien de nomenclature, alors que sans l'article fantôme SET, il faudrait modifier trois liens de nomenclature.

Du point de vue du calcul des besoins (voir chapitre 5 : Planification détaillée) un article fantôme est totalement transparent. Les besoins engendrés par

les fabrications futures de produits finis passeront directement au niveau des composants de l'article fantôme SET.

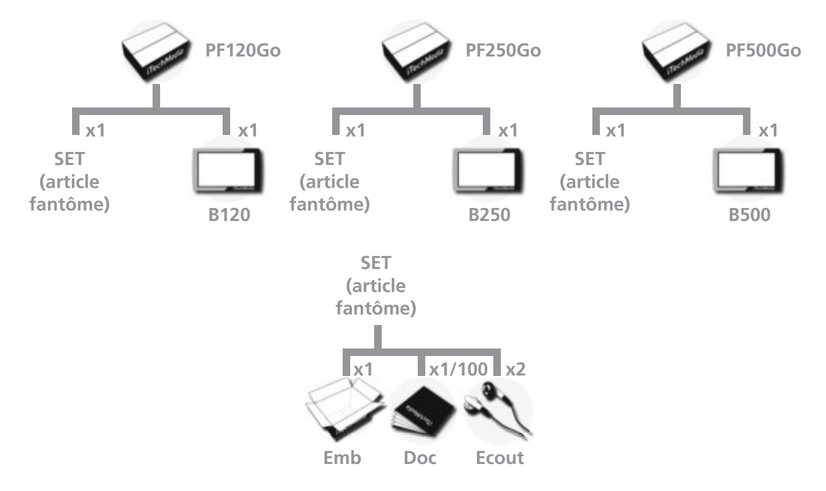


Figure 2.13 – Nomenclatures avec article fantôme

5.6. Structure des produits et nomenclatures

Selon les nombres comparés de produits finis et de leurs composants, ce qui dépend naturellement des secteurs d'activité concernés, les nomenclatures peuvent se présenter sous quatre formes :

- structure convergente ;
- structure divergente ;
- structure à point de regroupement ;
- structure parallèle.

Des produits standardisés, avec une faible diversité des produits finis, mais de nombreux composants ont une structure convergente (figure 2.14). Le nombre de niveaux de nomenclature dépend de la complexité du produit fini. Ce type de structure se retrouve dans la fabrication de circuits électroniques ou d'ensembles de mécanique générale.

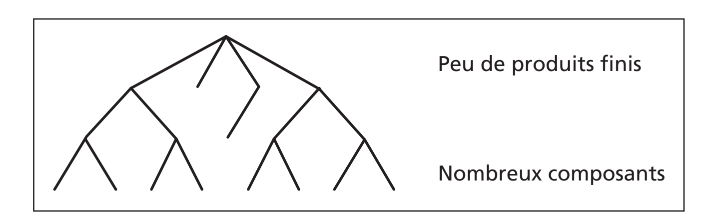


Figure 2.14 – Structure convergente

Dans certains cas, un nombre réduit de matières premières, ou même une seule, conduit à une grande variété de produits finis. Nous avons alors une structure divergente (figure 2.15). C'est le cas notamment de l'industrie laitière ou de l'industrie pétrolière.

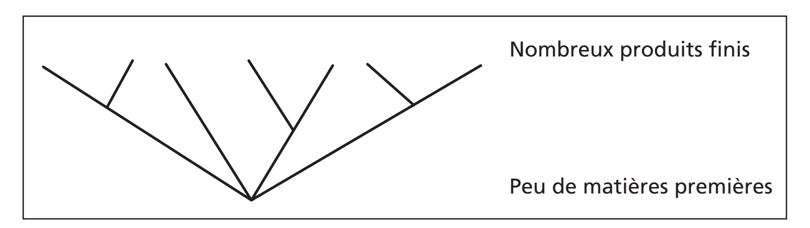


Figure 2.15 – Structure divergente

Certaines entreprises incorporent des sous-ensembles standards pour constituer de nombreux produits finis. Ces sous-ensembles comportent souvent eux-mêmes un grand nombre de composants de base. Nous avons alors une structure à point de regroupement (figure 2.16). Le plus souvent, les gestions des deux parties seront différentes : gestion sur stock à partir de prévisions de la demande pour la partie conduisant aux sous-ensembles et assemblage à la commande des produits finis. C'est le cas typique de l'industrie automobile où les options de motorisation, de freinage, de direction… sont installées à la demande. On parle aussi, dans ce cas, de différenciation retardée afin de conserver, le plus longtemps possible, des éléments ou sous-ensemble standards fabriqués en grand nombre (intéressant pour la production), tout en offrant la possibilité de personnaliser les produits finis (intéressant pour les clients).

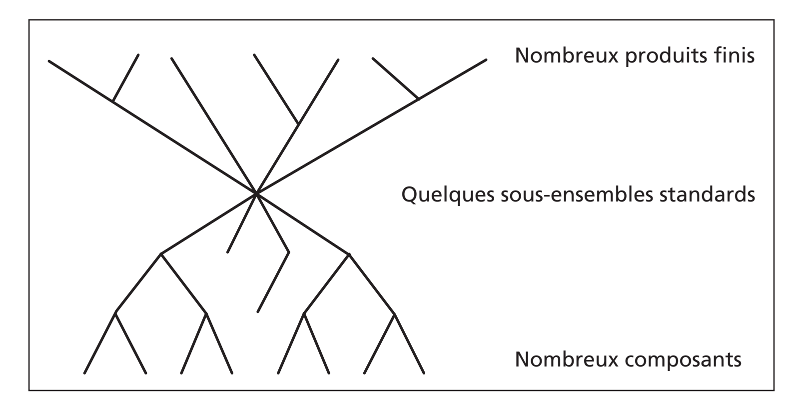


Figure 2.16 – Structure à point de regroupement

5.7. Différentes nomenclatures

- La nomenclature fonctionnelle reflète une approche de bureau d'études qui utilise les fonctions élémentaires correspondant au cahier des charges fonctionnel pour avancer les solutions techniques propres à les satisfaire.
- La nomenclature de fabrication ou d'assemblage décrit les composants nécessaires pour la production ou l'assemblage d'un article (pièces et sous-ensembles). Il s'agit de la nomenclature mononiveau (voir figure 2.9).
- La nomenclature de gestion de production découle des nomenclatures précédentes. Elle regroupe les articles gérés (fichier articles). Il s'agit de la nomenclature multiniveaux (voir figures 2.6 ou 2.7).

La gestion de production utilise parfois des nomenclatures de planification, en complément aux nomenclatures de gestion de production précédentes, pour améliorer la planification des besoins dans le cas de très nombreux produits finis avec des variantes ou des options :

- les nomenclatures modulaires rendent de grands services dans le cas de produits avec de nombreuses variantes (automobile par exemple). Les différents composants sont regroupés en module ou option, et après modularisation on constitue une macronomenclature dont les coefficients sont exprimés en pourcentages des prévisions de ventes de chaque option ;
- la macronomenclature est située au sommet de la structure et représente une famille de produits. Elle est constituée de composants agrégés (regroupement d'articles) et, éventuellement, de composants critiques à surveiller (composants stratégiques à long délai).

En exemple, voici ce que pourraient être la macronomenclature et les nomenclatures modulaires dans le cas de la famille des baladeurs **iTechMedia**.

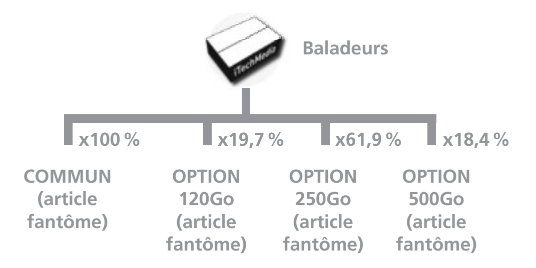


Figure 2.17 – Macronomenclature des baladeurs

L'avantage principal de cette modularisation est que l'on n'a besoin de faire qu'une seule prévision (sur l'article famille) pour planifier les approvisionnements et les fabrications des articles. En revanche, il faut que les pourcentages

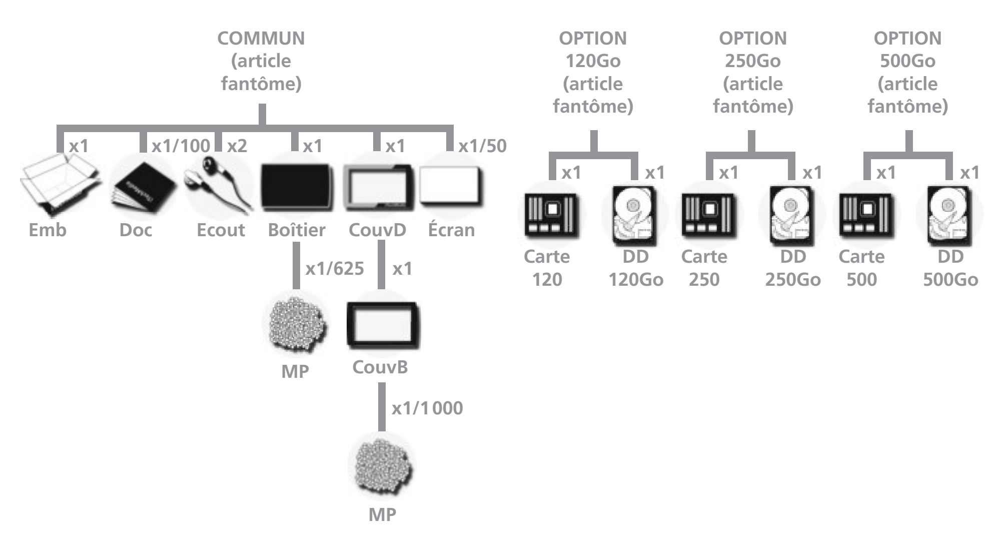


Figure 2.18 – Nomenclatures modulaires

de la macronomenclature soient plutôt stables au cours du temps, ce qui n'est pas vrai dans le cas des baladeurs **iTechMedia**. Dans le cas de l'automobile, cette technique donne la possibilité de planifier plus facilement à partir d'une seule prévision sur une famille de voitures (alors qu'il peut y avoir des milliers de modèles différents dans la famille par le jeu des options et des variantes) les fabrications ou approvisionnements des composants regroupés en modules (option diesel, option essence, option boîte manuelle, option boîte automatique, etc.).

Nous venons de montrer que le même produit est vu dans l'entreprise de différentes manières selon le service concerné. Cette multiplicité de nomenclatures est une entrave à l'objectif d'intégration. Il se pose, par exemple, une difficulté de mise à jour suite à modification. La standardisation des diverses nomenclatures, à l'usage du bureau d'études, des méthodes et du système de gestion de production est donc un but à atteindre malgré les frictions possibles entre services. Il en va de la fiabilité des données techniques.

5.8. Données des nomenclatures

Les données d'un enregistrement de lien de nomenclature comportent :

- la référence ou code de l'article composé qui sert de clé d'accès à l'enregistrement ;
- la référence ou code de l'article composant ;
- le coefficient de lien ;
- sa validité définie par les dates de début et de fin d'utilisation de ce lien ;

- d'autres données de gestion comme la date de création du lien, le type de nomenclature (fonctionnelle, fabrication…) ;
- le coefficient de rebut (pourcentage permettant d'augmenter le besoin brut pour prendre en considération les pertes en production du composé concerné et ne s'appliquant pas à toute utilisation du composant comme le coefficient de perte vu au paragraphe 4.2).

6. Sections

Les sections permettent de regrouper les postes de charge (voir ci-après) en fonction des coûts de fonctionnement. Les coûts horaires prennent en compte les salaires et les charges des opérateurs ou régleurs, mais aussi les coûts liés à l'amortissement des machines ainsi que des frais généraux.

Les données d'un enregistrement section contiennent :

- la référence ou code de la section ;
- la désignation de la section, c'est-à-dire son appellation ;
- le coût horaire de production (salaire d'un opérateur + amortissement horaire d'une machine) ;
- le coût horaire de préparation ou de réglage (salaire d'un régleur + amortissement horaire d'une machine).

Les coûts horaires permettent, par la suite, de calculer le coût de production de chaque article, en utilisant les informations de durée qui sont dans les gammes de fabrication.

La figure 2.19 montre la section Injection de l'usine **iTechMedia**.

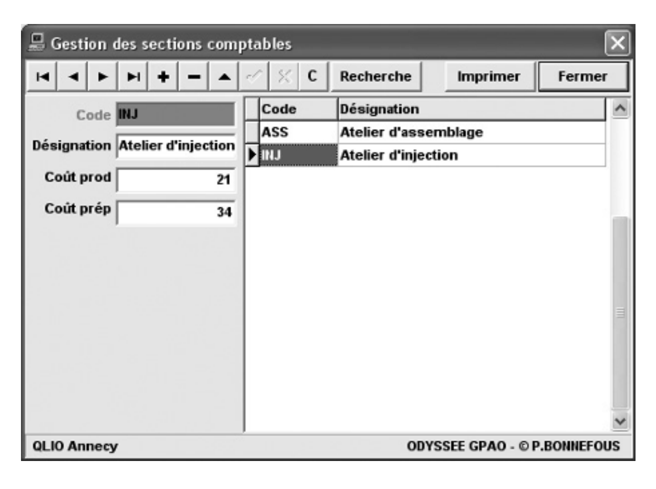


Figure 2.19 – Section Injection de l'usine iTechMedia

7. Postes de charge

7.1. Définitions

Un poste de charge est une unité opérationnelle de base que l'entreprise a décidé de gérer. Précisons tout de suite qu'il ne faut pas le confondre avec le poste de travail. Celui-ci est une unité physique qui entrera dans un poste de charge, alors que le poste de charge est une entité qui résulte d'un choix d'organisation. En général, le poste de charge résultera de la combinaison de plusieurs postes de travail associés pour réaliser une action de production déterminée. Ainsi, selon le cas, le poste de charge peut être une machine ou un groupe de machines identiques, une ligne de fabrication comprenant plusieurs machines, un ou plusieurs opérateurs, une association machine(s)-opérateur(s), un atelier…

7.2. Données des postes de charge

Les données d'un enregistrement de poste de charge contiennent :

- la référence ou code du poste de charge ;
- la désignation du poste de charge, c'est-à-dire son appellation ;
- l'indication de la nature du poste (machine, main-d'œuvre ou mixte) ;
- le calendrier d'utilisation du poste de charge, c'est-à-dire les jours ouvrés et les horaires d'ouverture (une équipe, deux équipes…) ;
- le taux d'utilisation du poste de charge pour réduire la capacité en fonction des arrêts prévus (pauses) ou imprévus (pannes). Il est issu d'un historique de l'utilisation du poste ;
- le poste de remplacement, qui permet de réorienter la production vers ce poste en cas de surcharge ou d'indisponibilité ;
- la section d'appartenance (pour le calcul des coûts).

La capacité du poste de charge est fonction du nombre d'opérateurs, du nombre de machines, du temps d'ouverture du poste et de son taux d'utilisation. Le temps d'ouverture du poste correspond à son ouverture théorique indiquée par le calendrier standard de l'usine ou le calendrier spécifique au poste. La capacité démontrée (expression de la capacité réelle du poste) qui sera utilisée dans le calcul prévisionnel de charge est obtenue en multipliant la capacité théorique par le taux d'utilisation.

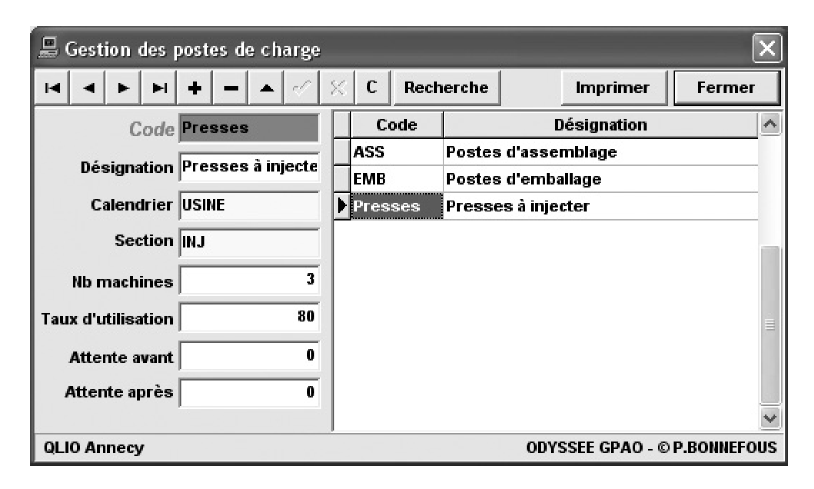


Figure 2.20 – Poste de charge presses de l'usine iTechMedia

Si l'usine travaille en 2 équipes de 7 heures par jour, 5 jours par semaine, alors la capacité démontrée hebdomadaire du poste de charge presses sera de : $3 \times 2 \times 7 \times 5 \times 80\% = 168$ heures.

7.3. Outillages

Dans un système de gestion de la production, les outillages spécifiques, les outillages consommables, à durée de vie limitée ou nécessitant une maintenance, doivent être gérés afin d'assurer leur disponibilité lors de la planification, puis de l'exécution.

Le problème est analogue à celui des articles : délai de mise à disposition correspondant soit à un délai de livraison d'un article acheté, soit au temps de préparation de l'outil comme un article fabriqué. Les données outillages seront donc de même type que celles des articles.

8. Gammes

8.1. Définitions

L'industrialisation d'un produit consiste à choisir le processus et la suite optimale des opérations permettant d'aboutir au produit fini concerné. Toutes ces opérations sont répertoriées et précisées sur un document comportant des données théoriques ou réelles décrivant les caractéristiques techniques utiles à la réalisation d'un article, c'est-à-dire la manière de réaliser ces opérations, le matériel à utiliser, les temps d'intervention, les tailles de lot… Ce document

est communément appelé « gamme » et édité par le service méthodes. Suivant le secteur d'activité, ce document prend d'autres noms : « process » (électronique), « recette » (agroalimentaire), « formule » (chimie)…

La gamme est donc l'énumération de la succession des actions et autres événements nécessaires à la réalisation de l'article concerné.

Si l'article est obtenu par transformation de la matière, il s'agit d'une gamme d'usinage. Il existe de même des gammes d'assemblage, des gammes de contrôle, des gammes de transfert… Une gamme de gestion de production est destinée à calculer la charge sur les postes de charge et les délais d'obtention des articles. Elle est donc beaucoup moins détaillée, puisque seuls sont alors indispensables l'ordre des opérations, le poste de charge concerné et les temps d'utilisation du poste.

L'utilisation de la technologie de groupe, ou simplement l'existence de gammes ressemblantes, conduit à déterminer des gammes types (gammes mères) qui permettent de créer par recopie, avec quelques modifications et ajouts, des gammes filles.

Dans la planification à long et à moyen terme, on est amené à étudier les charges globales (voir chapitre 7 : Planification globale). Cette planification globale des capacités utilise des macrogammes. Ces dernières, correspondant à des produits finis ou à des familles de produits, ne comprennent pas les opérations élémentaires, mais décrivent globalement les temps de passage dans certains groupes de postes de charges ou certains postes critiques (goulots d'étranglement identifiés). On peut ainsi estimer les charges globales à comparer aux capacités afin de valider les premières étapes de la planification, sans mettre en œuvre un traitement lourd et inapproprié à ce stade.

8.2. Données des gammes

Les données d'un enregistrement gamme comprennent les données de l'en-tête et celles du corps de la gamme.

L'en-tête de la gamme comporte :

- la référence ou code de la gamme. Le plus souvent, il s'agit de la référence de l'article correspondant. Lorsqu'il y a des gammes communes à plusieurs articles, on est amené à définir des références spécifiques de gammes et à rattacher la gamme adéquate à chaque article ;
- la désignation de la gamme en clair ;
- l'indice de la gamme qui permet de garder en mémoire les évolutions successives de cette gamme ;

- la description sous forme de commentaire ou de renvoi vers un dossier technique ;
- les conditions d'emploi (taille de lot standard, tailles maximales et minimales de lot, possibilité de fractionnement de lot) ;
- la référence de la gamme de remplacement ou gamme secondaire éventuelle qui se substitue à la gamme principale ;
- les dates de création, mise à jour, validité…

Le corps de la gamme est constitué de la liste ordonnée des opérations, et chaque opération sera décrite par :

- un numéro d'ordre ou de phase (par exemple 10, 20, 30… permettant d'insérer de nouvelles étapes) ;
- la référence ou code du poste de charge concerné ;
- les temps dans une unité de temps définie ;
- les outillages nécessaires ;
- le numéro du mode opératoire ou de la fiche d'instruction à utiliser.

Les temps définis dans les gammes peuvent être :

- le temps de réglage ou de préparation ;
- le temps unitaire d'exécution (main-d'œuvre ou machine) qui, multiplié par le nombre d'articles, donnera le temps total d'exécution ;
- les temps technologiques comme un refroidissement ou un séchage ;
- le temps de transfert vers le poste suivant ;
- le temps d'attente devant le poste.

Le temps d'exécution peut être constant ou dégressif, en fonction des quantités produites (phénomène d'apprentissage).

Le fichier gammes contribue donc à :

- calculer la charge sur un horizon donné pour chaque poste de charge ;
- valider la planification ;
- ordonnancer à capacité finie ;
- calculer les coûts prévisionnels ;
- établir le dossier de fabrication ;
- comparer le réalisé (suivi de production) avec le prévu (planification).

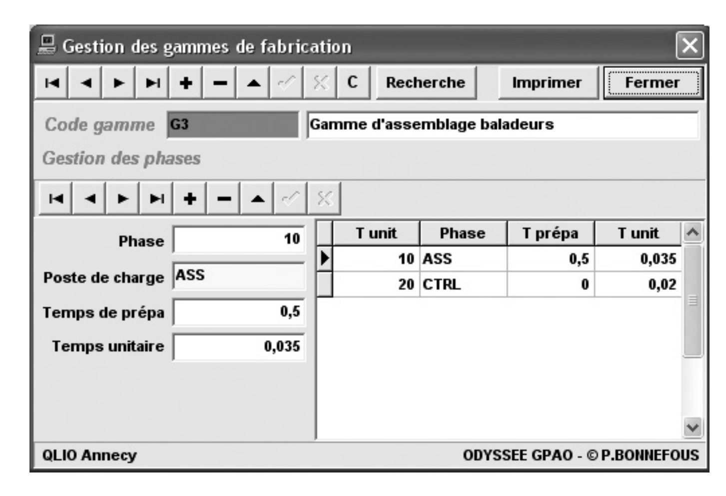


Figure 2.21 – Gamme simplifiée pour la fabrication des baladeurs iTechMedia

9. Autres données techniques

9.1. Données relatives à l'environnement

Concernant les flux physiques des produits, l'environnement de l'entreprise comprend trois types de partenaires :

- les clients ;
- les fournisseurs ;
- les sous-traitants.

Les données de base les concernant sont gérées par la fonction commerciale dans le premier cas, et par la fonction achat pour les deux autres ou alors par la fonction logistique ou *supply chain*, lorsqu'elle existe.

Les enregistrements comportent, dans tous les cas, une référence permettant d'y accéder et de mettre en relation les fichiers du système d'information de l'entreprise, l'identification du partenaire, des données de description et de classification. Ces dernières concernent la gestion de production pour l'évaluation qualitative ou quantitative des partenaires (respect des délais, de la qualité par les fournisseurs et sous-traitants, exigences des clients dans ces domaines).

9.2. Données d'activité

Les données d'activité sont à l'origine des informations qui génèrent et pilotent cette activité. Dans le cas de la gestion de production, il s'agit tout d'abord des

données créant l'activité, puis des données de lancement et de suivi de cette activité.

Les premières ont pour origine les commandes clients ou les prévisions de commandes qu'il faut confronter aux ressources de l'entreprise (capacité disponible sur les postes machine et main-d'œuvre ventilée par périodes, stocks disponibles en produits finis, sous-ensembles, composants et matières premières). Il en résulte la création d'ordres de fabrication (OF), d'ordres d'achat (OA) ou d'ordres de sous-traitance (OST) selon le cas.

Les données d'un OF sont typiquement la référence de l'ordre, la référence de l'article concerné, la quantité à produire, les dates de début et de fin, la gamme à utiliser, les dates de création et de modification de l'OF. Les données d'un OA ou d'un OST sont quasiment les mêmes à l'exception de la gamme qui est remplacée par le code du fournisseur ou du sous-traitant.

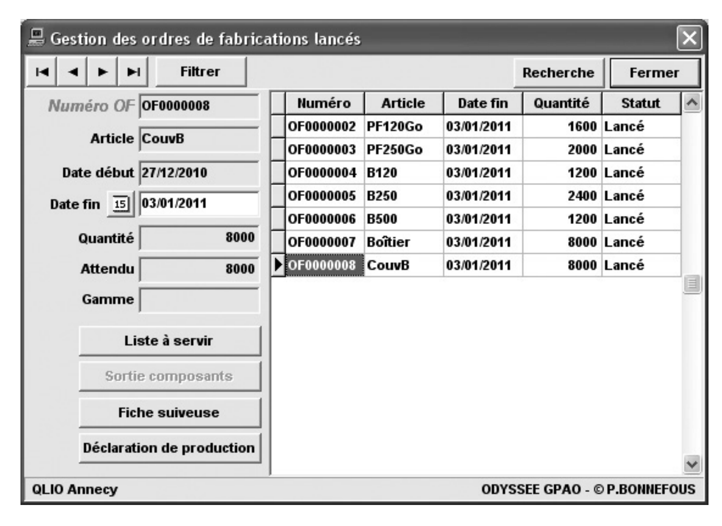


Figure 2.22 – État des ordres de fabrication dans l'usine iTechMedia à la date du 3 janvier 2011

Les données du suivi de production concernent l'état d'avancement des travaux, les niveaux de qualité et des en-cours. Le suivi est plus ou moins détaillé, notamment en fonction de la durée des ordres et des opérations. Dans le cas d'un suivi détaillé par opération, elles comporteront la référence de l'OF, le numéro de l'opération, le poste concerné, le code de l'opérateur, le type d'opération, les dates-heures de début, l'interruption, la reprise ou la fin d'opération, les quantités de pièces bonnes, à reprendre ou à rebuter…

Le suivi des stocks se traduit par la saisie des informations concernant tous les mouvements physiques d'entrées et de sorties des magasins de stockage.

Gestion des commandes fournisseurs

Filtrer | Recherche | Fermer

Numéro OF: OA0000012
Article: Ecout
Date fin: 03/01/2011
Quantité: 3600
Attendu: 3600
Fournisseur:

Bon de comm | Validation envoi | Réception

Numéro	Article	Date fin	Quantité	Statut
OA0000003	Carte 120	17/01/2011	1200	Envoyée
OA0000013	Carte 250	03/01/2011	2100	Envoyée
OA0000014	Carte 250	10/01/2011	2400	Envoyée
OA0000015	Carte 250	17/01/2011	2400	Envoyée
OA0000016	Carte 500	03/01/2011	800	Envoyée
OA0000017	Carte 500	10/01/2011	1000	Envoyée
OA0000004	DD120Go	31/01/2011	5000	Envoyée
OA0000005	DD250Go	24/01/2011	5000	Envoyée
OA0000007	DD250Go	07/02/2011	5000	Envoyée
OA0000008	DD250Go	14/02/2011	5000	Envoyée
OA0000006	DD500Go	14/02/2011	5000	Envoyée
OA0000009	Doc	03/01/2011	50	Envoyée
OA0000012	Ecout	03/01/2011	3600	Envoyée

QLIO Annecy — ODYSSEE GPAO - © P.BONNEFOUS

Figure 2.23 – État des commandes fournisseurs dans l'usine iTechMedia à la date du 3 janvier 2011

Les données de suivi des stocks comprennent la référence article ou outillage, la quantité, la date du mouvement, le type de mouvement (entrée ou sortie, manuelle, ou automatique, régularisation d'inventaire…), le code du magasinier, le numéro de lot de l'article, le numéro de l'ordre (OF, OA ou OST), le numéro de l'opération concernée…

9.3. Données historiques

Les données historiques constituent un journal et une synthèse de l'activité de production. Ainsi, on conserve l'historique des mouvements de stocks, des commandes, des ordres d'achat et de sous-traitances (OA et OST) avec la réponse de l'entreprise en matière de quantités, qualité, prix, délais. Les modifications techniques apportées aux produits sont utiles au service après-vente. Le cumul par OF des données du suivi de production permet de calculer le coût de revient de l'OF qui pourra être comparé au coût prévu. Ces données historiques constituent donc la mémoire de l'entreprise permettant d'analyser le passé pour prévoir et améliorer le futur.

10. Les bonnes pratiques

10.1. GED : gestion électronique de données

Nous avons indiqué précédemment que différents services de l'entreprise utilisaient des données techniques : par exemple, le bureau d'études utilise des nomenclatures de conception et le service gestion de production utilise

des nomenclatures de gestion de production. Il semble donc intéressant de regrouper toutes ses données techniques dans une même base de données qui assurera l'unicité et la cohérence de ces données. C'est le rôle des logiciels de GED (gestion électronique des données) ou SGDT (système de gestion de données techniques). Ces outils logiciels permettent de stocker, gérer et contrôler toutes les informations, états, et processus concernant la conception, la production et la maintenance d'un produit. L'équivalent anglais est le PDM (*Product Data Management*).

Le PLM (*Product Lifecycle Management*) est une extension des SGDT qui consiste à capitaliser toutes les informations concernant un produit industriel tout au long de son cycle de vie.

10.2. Qualité des données techniques

Les données techniques sont la base du système de gestion de la production. La qualité de cette gestion dépendra donc de la qualité des données : la planification et la programmation ne seront réalistes que si les données techniques sont exactes. Pour ce faire, il faut tout d'abord que les données soient exactes au moment de leur création, et en outre, qu'elles soient maintenues à jour lors des modifications. L'exactitude des données repose d'abord sur la formation et la motivation des personnes qui les gèrent ; ensuite, sur la prévention et la détection des erreurs par choix du système de codification, recherche de vraisemblance des transactions…

D'après l'expérience d'un grand nombre de cas réels d'entreprise, le cabinet de conseil Oliver Wight estime que pour qu'un système de gestion de production fonctionne bien (entreprise de classe A), il est nécessaire que certains indicateurs de performances satisfassent des valeurs minimales (figure 2.24).

Fichier	Indicateur de performance	Minimum
Stocks	Nombre stocks exacts/nombre stocks vérifiés Stock physique-stock informatique < tolérance (2 %) Stock informatique	95 %
Nomenclatures	Nombre nomenclatures exactes/Nomenclatures vérifiées Composants et coefficients exacts Nomenclature complète Structure reflétant la production et sa gestion	98 %
Gammes	Nombre gammes exactes/Nombre gammes vérifiées Séquences opératoires exactes Postes de charge exacts Temps à 10 % près (+ ou –)	98 %

Figure 2.24 – Exigence de qualité des données

C'est grâce à une telle qualité des données maintenues à jour que l'entreprise planifiera dans de bonnes conditions de réalisme la production qui, alors, pourra être exécutée dans les conditions les plus favorables.

Tout comme on est obligé de faire des inventaires de stocks lorsque l'on n'arrive pas à maîtriser ceux-ci, il se peut que l'on soit obligé de mettre en place des contrôles fréquentiels de données techniques afin de les fiabiliser. Dans tous les cas, la gestion des données techniques demande une grande rigueur !

10.3. Tassement des nomenclatures

Lorsque l'on a des nomenclatures avec beaucoup de niveaux, cela engendre beaucoup de stocks à gérer (chaque article dans une nomenclature correspond à un stock qu'il faut gérer), et aussi beaucoup de lancements en production à faire (beaucoup de travail de vérification de disponibilité des composants ou de la capacité, et beaucoup de suivi pour les gestionnaires de production).

Un changement du mode de production peut permettre de réduire les nomenclatures (tasser les nomenclatures). Voici ce que pourrait être la nomenclature du baladeur PF120Go si :

- on réalise sur un même poste, ou sur une même ligne, le montage, le contrôle et l'emballage des baladeurs (suppression de l'article B120) ;
- on supprime le point de gestion correspondant à l'article CouvB (ce stade de production devenant une simple étape dans la gamme de fabrication de l'article CouvD, c'est-à-dire un en-cours).

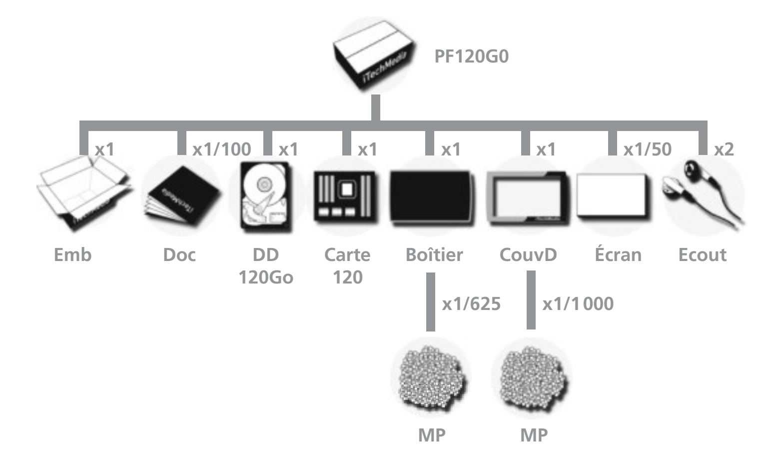


Figure 2.25 – Tassement des nomenclatures

11. Conclusion

Les données techniques représentent les fondations de toute gestion industrielle. Elles touchent toutes les fonctions de l'entreprise en formant le cœur du système d'information de l'entreprise. Les meilleurs outils et méthodes ne donneront que de piètres résultats si les données techniques manipulées sont erronées ou mal structurées.

Nous avons développé dans ce chapitre les principales données qui doivent être formalisées pour mettre en œuvre une bonne gestion de production telles que les nomenclatures, gammes, articles, clients, fournisseurs… Nous verrons dans les prochains chapitres comment sont manipulées ces données, notamment dans le chapitre consacré à MRP (chapitre 5 : Planification détaillée).

Chapitre 3

Gestion des stocks

1. Le problème de la gestion des stocks

1.1. Introduction

Le rôle des stocks dans une entreprise apparaît souvent comme ambigu. Il est indéniable qu'ils ont un rôle positif de régulation du processus de production. Ils permettent de désynchroniser la demande d'un produit de sa production.

Malheureusement, ce rôle positif est largement compensé par plusieurs inconvénients majeurs :

- rigidification de la production, il faut écouler les stocks ;
- augmentation du délai moyen de production (temps de traversée) ;
- immobilisation de moyens financiers importants ;
- immobilisation de surface ;
- coûts importants liés à l'existence même des stocks (amortissements des locaux et des matériels de stockage, salaires des personnes travaillant dans les lieux de stockage, coût financier de l'argent immobilisé dans les stocks…).

La désynchronisation due à la présence de stocks, permet de masquer de nombreux problèmes tels qu'une maintenance des machines insuffisante, une mauvaise planification, des fournisseurs qui livrent en retard…

Il faut donc trouver un compromis permettant d'obtenir le rôle positif indiqué pour un coût minimal. Tel va être un des objectifs permanents de la gestion de production.

1.2. Différents types de stocks

On distingue différents types de stocks :

- les stocks nécessaires à la fabrication, matières premières, ébauches, pièces spéciales sous-traitées, sous-ensembles, pièces intermédiaires fabriquées par l'entreprise ;
- les pièces de rechange pour le parc machines, les outillages spéciaux, les outillages et matières consommables, les pièces, les matériaux, les produits pour l'entretien des bâtiments ;
- les en-cours, c'est-à-dire les stocks entre les différentes phases de l'élaboration du produit (entre les machines) ;
- les stocks de produits finis.

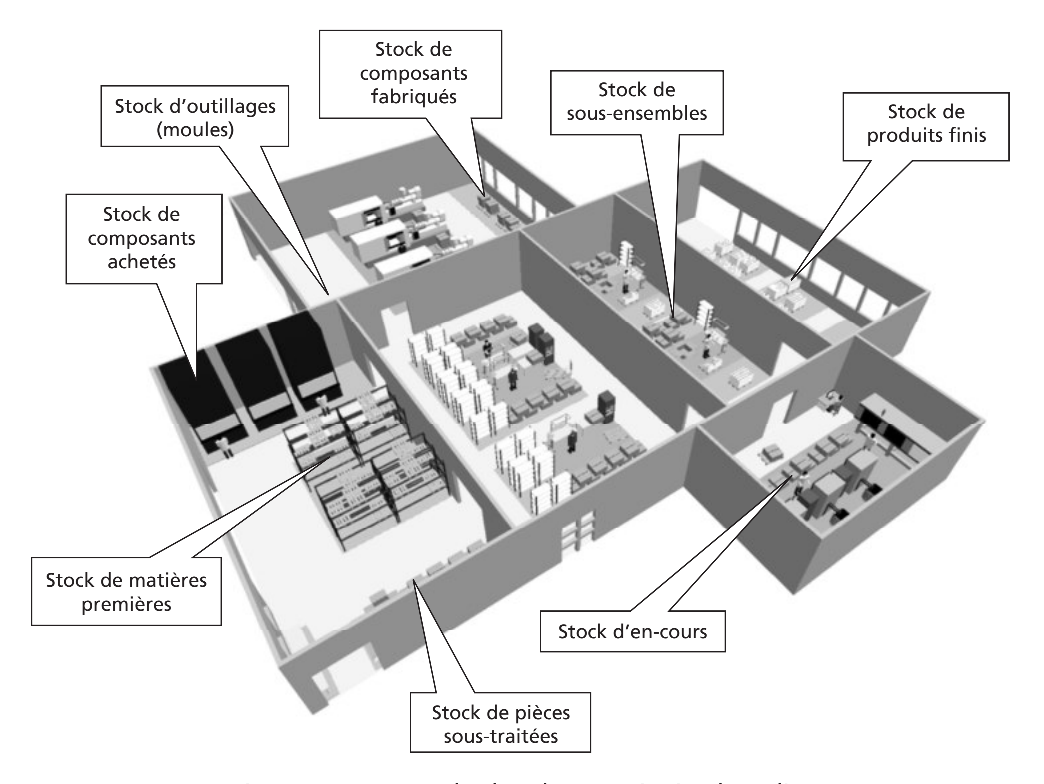


Figure 3.1 – Les stocks dans l'entreprise iTechMedia

Comme nous l'avons dit précédemment, les stocks constituent à la fois une nécessité et une lourde contrainte financière. En moyenne, le coût annuel des stocks représente 25% à 35% des capitaux immobilisés. Avant d'aller plus loin, il est important de réfléchir à la notion de stock afin de ne plus les considérer comme « un mal nécessaire ».

Les stocks sont de natures différentes. Certains sont des stocks « subis », c'est-à-dire involontaires, alors que d'autres sont « voulus », car inhérents au mode de production. En énumérant un certain nombre de stocks, nous remarquerons qu'il est parfois délicat de les classer dans une seule de ces catégories.

Cherchons l'origine des stocks subis :

- ils se forment en raison d'erreurs dans les prévisions de la demande ;
- ils apparaissent parce que l'on produit plus que nécessaire (en raison des aléas de fonctionnement), d'où la tendance des stocks à se gonfler ;
- ils se constituent du fait de la production par lots ;
- ils se forment en raison de la différence de rythme des moyens de production.

Les stocks voulus peuvent également provenir de plusieurs sources :

- production anticipée en raison du long délai qui s'écoule entre la commande et la production ;
- production anticipée pour niveler les fluctuations de la demande ;
- stocks nécessaires pour compenser les irrégularités dans la gestion de la fabrication (usinage), du contrôle et des transports ;
- stocks de précaution pour le cas de pannes des machines ou produits défectueux ;
- stocks résultant de la production d'un lot de grande taille en prévision des temps importants de mise en route des séries.

Si l'on considère l'investissement non productif que représentent les stocks, on note qu'il est fondamental pour une entreprise de chercher à les réduire le plus possible. Toutefois, cette réduction ne doit pas se faire de façon aveugle, sinon elle risque d'engendrer des ruptures et des retards de livraison.

La diminution des stocks est toujours corrélée à une réduction du délai de production. On ne diminue pas les stocks, les stocks se réduisent suite aux actions menées sur le processus de production telles que :

- la prévention des pannes de machines (maintenance) ;
- la réduction du nombre de produits défectueux (amélioration de la qualité) ;

- la réduction des temps de mise en route ou temps de changement de série ;
- l'amélioration de la gestion de production dans l'entreprise par la mise en œuvre des méthodes que nous exposerons dans cet ouvrage.

1.3. Objectif de la gestion des stocks

La gestion des stocks a pour but de maintenir à un seuil acceptable le niveau de service pour lequel le stock considéré existe.

Il n'y a pas d'objectif absolu valable pour toutes les entreprises, pour tous les produits, pour toutes les catégories de stocks. L'objectif correspondra toujours à un contexte particulier. De plus, il ne sera pas figé, mais évoluera dans le temps. En effet, l'un des objectifs de la gestion de stocks est précisément d'aller vers une performance accrue par une meilleure maîtrise des stocks.

Cette gestion implique différents types d'opérations :

- le magasinage avec entrées, stockage, sorties des articles ;
- la tenue d'un fichier consacré à la mémorisation des quantités en stock ;
- le lancement des ordres de fabrication ou des commandes fournisseur pour recompléter le stock ;
- l'imputation dans la comptabilité des entrées/sorties ;
- le classement des stocks en catégories.

1.4. Optimisation du niveau du stock

Comment minimiser le stock considéré en conservant un niveau de service suffisant ? La réponse à cette question va dépendre de la nature du stock. Mais dans tous les cas, il faudra agir sur la véritable cause du stock ou du surstock. Donnons quelques exemples :

- mauvaise qualité des prévisions entraînant des stocks dormants ou morts ;
- excès de prudence en ce qui concerne les stocks de sécurité ;
- irrégularité et manque de fiabilité dans le fonctionnement des machines ;
- déséquilibre des cadences ;
- importance de la taille des séries dans la fabrication par lots…

Le niveau du stock dépend naturellement de deux facteurs : les entrées et les sorties. Il sera souvent impossible de jouer sur les sorties (appelées par la production ou par les clients), et la seule façon de réguler le niveau moyen du stock consistera à modifier le mode des entrées.

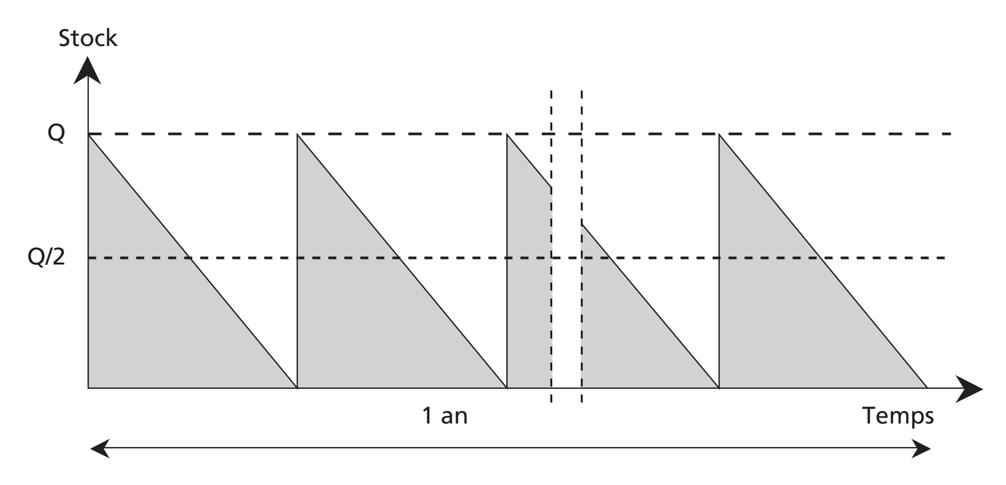


Figure 3.2 – Schéma d'évolution théorique du stock

Prenons par exemple le cas idéalisé de consommations régulières et d'entrées, périodiques dans le temps, de quantités Q. On obtiendra une évolution du niveau de stock représentée sur la figure 3.2 et le stock moyen sera évidemment égal à Q/2.

On se dit immédiatement que pour diminuer le niveau moyen du stock, il suffit de diminuer la taille du lot Q. Hélas, ce n'est pas si simple… car chaque lancement de lot entraîne des coûts de lancement (coûts de passation de commandes pour les achats, coûts de changement de série pour les fabrications) et ces frais augmentent avec le nombre de lancements. À un certain moment, l'augmentation du coût des lancements va dépasser le gain financier de réduction du stock et le résultat global sera mauvais. L'objectif est donc de trouver la quantité Q conduisant à un coût global minimal de la somme des coûts de stockage et coûts de lancement. Cette quantité est appelée quantité économique (voir paragraphe 4).

2. Classification des stocks

2.1. Nécessité d'un classement

Lorsqu'une entreprise gère plusieurs milliers d'articles, il est impossible qu'elle accorde à chacun des articles la même priorité dans sa gestion. Une gestion des stocks est donc une gestion sélective ; on ne gère pas de la même façon les fournitures de bureau et les articles destinés à la production. De même, dans un ensemble produit, la vis de diamètre 5, dont la valeur est faible, ne

sera pas gérée de manière identique au corps du produit, dont la valeur est très importante. On note donc à ce niveau la nécessité de classification des produits selon deux critères :

- critère de destination (fournitures de bureau, production, service après vente) ;
- critère de valeur (valeur cumulée des articles apparaissant aux mouvements de stocks ou valeur en stock).

2.2. Classement ABC

2.2.1. Principe du classement ABC

Le classement ABC des articles consiste à différencier les articles en fonction de la valeur des sorties annuelles de stocks qu'ils représentent. Ce classement est fondé sur le principe bien connu des 80-20 : 20% des articles représentent 80% de la valeur totale des sorties, et les 80% des articles restants ne représentent que 20% (loi de Pareto). Ce classement est donc fondamental pour une entreprise, car il conditionne le type de gestion que l'on va appliquer à chacun des articles.

Ce classement ABC peut être effectué sur deux critères :

- valeur des sorties annuelles en stock ;
- valeur en stock.

L'application simultanée sur les deux critères et la comparaison des résultats sont souvent très utiles pour mesurer la rigueur avec laquelle les stocks sont gérés.

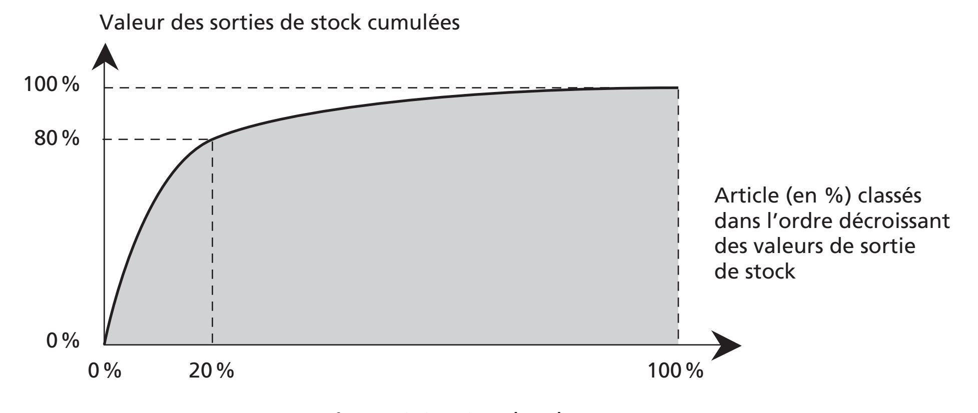


Figure 3.3 – Courbe de Pareto

2.2.2. Étude de la méthode sur un exemple d'école

L'exemple que nous présentons ci-dessous est limité à dix articles. Il est évident qu'un cas aussi simple ne nécessite pas de classification ABC. Cependant, il permet de comprendre le principe du classement. Le classement ABC ne présente d'intérêt réel que lorsque le nombre d'articles étudiés est suffisamment élevé.

Soit donc une entreprise gérant dix articles, et dont les valeurs de sorties de stock et les valeurs de stock sont les suivantes :

Article	Valeur de l'article	Nombre de sorties	Total	Quantité en stock	Total
01	25,00	159	3975	35	875
02	134,00	56	7504	12	1608
03	23,00	12	276	4	92
04	5,00	70	350	25	125
05	87,00	30	2610	1	87
06	2,00	75	150	10	20
07	9,00	140	1260	20	180
08	1,00	80	80	10	10
09	0,50	150	75	50	25
10	6,00	35	210	5	30

Classement ABC sur les sorties

Après avoir classé les articles pour que les totaux des sorties soient classés dans l'ordre décroissant, il faut calculer les pourcentages respectifs, en valeur et en nombre d'articles.

Article	Valeur de l'article	Nombre de sorties	Total	Total cumulé	% valeur cumulé	% articles cumulé
02	134,00	56	7504	7504	45,5	10
01	25,00	159	3975	11479	69,6	20
05	87,00	30	2610	14089	85,4	30
07	9,00	140	1260	15349	93,1	40
04	5,00	70	350	15699	95,2	50

Article	Valeur de l'article	Nombre de sorties	Total	Total cumulé	% valeur cumulé	% articles cumulé
03	23,00	12	276	15975	96,9	60
10	6,00	35	210	16185	98,2	70
06	2,00	75	150	16335	99,1	80
08	1,00	80	80	16415	99,6	90
09	0,50	150	75	16490	100,0	100
Somme			**16490**			

Si l'on place sur un graphique, en abscisse, les différents articles, et en ordonnée, le total des sorties, on obtient une courbe de Pareto dite courbe ABC (figure 3.4).

On note que les 2 premiers produits représentent 69,6% des sorties totales et 20% du nombre total d'articles : ces produits pourraient constituer la classe **A**.

Les 4 produits suivants représentent en cumulé 96,9% des sorties totales et 60% du nombre total d'articles soit, en retirant la classe A, 27,3% des sorties totales et 40% du nombre total d'articles : les articles 05, 07, 04 et 03 pourraient constituer la classe **B**.

Les 4 derniers articles formeraient la classe **C** représentant 3,1% des sorties totales pour 40% du nombre total d'articles.

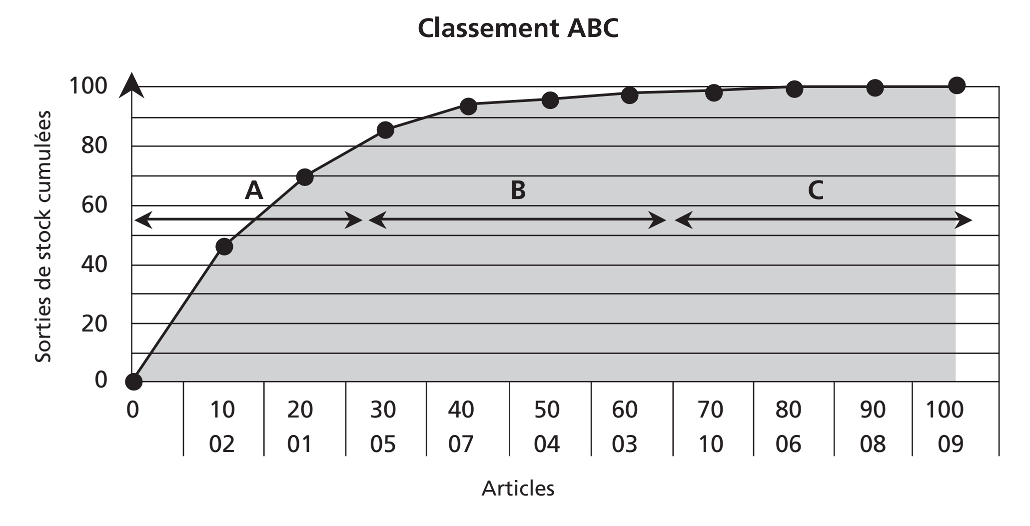


Figure 3.4 – Courbe ABC sur les sorties

Classement ABC sur les valeurs en stock

Le même classement sur les valeurs en stock donnerait :

Article	Valeur de l'article	Quantité en stock	Total	Total cumulé	% valeur cumulé	% article cumulé
02	134,00	12	1608	1608	52,7	10
01	25,00	35	875	2483	81,4	20
07	9,00	20	180	2663	87,3	30
04	5,00	25	125	2788	91,3	50
03	23,00	4	92	2880	94,4	60
05	87,00	1	87	2967	97,2	70
10	6,00	5	30	2997	98,2	40
09	0,50	50	25	3022	99,0	80
06	2,00	10	20	3042	99,7	90
08	1,00	10	10	3052	100,0	100
Somme			**3052**			

Ce qui donne la courbe suivante :

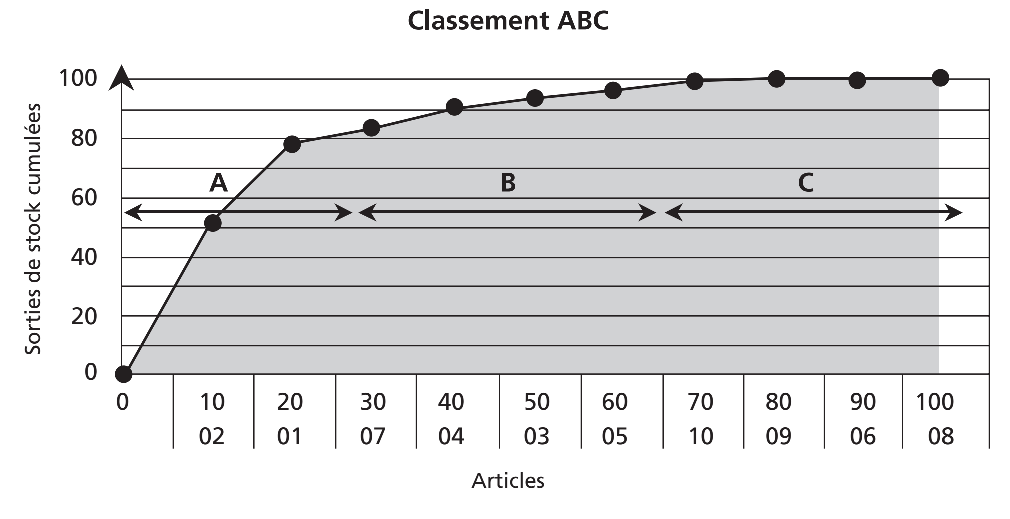


Figure 3.5 – Courbe ABC sur les valeurs en stock

On note que les deux premiers produits représentent 81,4% de la valeur totale du stock et 20% du nombre total d'articles : ces produits pourraient constituer la classe **A**.

Les produits représentant 94,4% de la valeur totale du stock sont constitués de 60% du nombre total d'articles : les articles 07, 10, 04 et 03 pourraient constituer la classe **B**.

Les quatre derniers articles formeraient la classe **C** représentant 5,6% de la valeur totale des stocks.

L'intérêt de la double analyse ABC réside dans l'observation respective des ordres dans lesquels sont classés les articles. Si l'on ne s'intéresse qu'aux articles tournants, en excluant les pièces destinées au service après-vente pour des produits anciens, les deux classements ABC doivent donner des résultats sensiblement identiques. C'est notamment le cas de l'exemple ci-dessus. En effet, il serait anormal de trouver un article représentant une part très faible pour les sorties et une part importante de la valeur en stock. De même, si un article a des valeurs en sortie importantes, il serait anormal de le trouver dans la catégorie C en ce qui concerne les stocks. Ce serait probablement le signe d'un article prochainement en rupture, si ce n'était pas déjà le cas.

Les anomalies constatées par cette double analyse ABC devront être étudiées avec attention pour savoir si le fait s'explique ou s'il est l'illustration de la maxime suivante : « Plus il y a de stocks, plus il y a de manquants. »

2.3. Classements ABC adaptés

2.3.1. Classement combiné articles/clients

Clients ➔ ↓ Articles		**Clients A**		**Clients B**			**Clients C**				
		C1	**C2**	**C3**	**C4**	**C5**	**C6**	**C7**	**C8**	**C9**	**C10**
A	**02**	*		*				*	*		*
	01	*	*		*	*	*				
B	**05**		*	*		*					
	07	*			*						
	04	*	*								
	03		*	*					*		
C	**10**	*	*								*
	06					*					
	08	*									
	09			*						*	

Figure 3.6 – Classement ABC articles/clients

De même que 20% des articles représentent souvent 80% des valeurs de sortie, on trouve souvent pour une entreprise 20% des clients qui représentent 80% du chiffre d'affaires. Il est donc souvent nécessaire de combiner le classement des articles par valeurs des ventes annuelles et le classement des clients par chiffres d'affaires annuels. Cette analyse croisée permet par exemple de ne pas sous-estimer un article de catégorie C, intéressant un client de catégorie A.

2.3.2. Classement introduisant des catégories supplémentaires

Dans le classement ABC tel que nous l'avons décrit ci-dessus, les résultats ne sont valables que si tous les articles concernés ont été utilisés dans un rythme normal de production sur toute la période analysée. Nous n'avons pas introduit la notion de cycle de vie du produit.

Cette remarque est particulièrement intéressante pour les produits nouveaux lancés au cours de la période d'analyse. Étant en phase de lancement, les ventes sont faibles, et le volume des sorties est donc très faible (période courte, ventes faibles). Ces produits qui ne peuvent atteindre la classe A risquent donc d'être sous-estimés par l'analyse ABC, ce qui peut être dangereux, car ils représentent les marchés futurs de la société. Il faut donc traiter ces produits à part, et certains logiciels proposent d'ajouter une classe (N par exemple) qui regroupe ce type de produit.

De même, il est difficile de traiter, dans l'analyse globale, les produits anciens, dont la vente est devenue très rare mais qu'il faut néanmoins conserver en stock pour un éventuel service après-vente, notamment dans le cas des garanties décennales. Il y a donc lieu de créer une classe que l'on peut appeler D.

2.4. Utilisation du classement ABC

Il y a plusieurs utilisations possibles.

On peut choisir les paramètres et/ou de la méthode de gestion en fonction de la classe de l'article :

- stock de sécurité important pour les articles de la classe C avec méthode de gestion basique. En effet, il est inconcevable de ne pas pouvoir assembler un produit fini (un baladeur multimédia par exemple) parce qu'il manque quelques vis !
- stock de sécurité faible pour les articles de la classe A avec une méthode de gestion plus performante.

On peut aussi déterminer la fréquence des inventaires. Par exemple :

- inventaire tous les six mois pour les articles de la classe C ;
- inventaire tous les trois mois pour les articles de la classe B ;
- inventaire tous les mois pour les articles de la classe A.

3. Les opérations de gestion des stocks

La gestion des stocks d'une entreprise doit être réalisée avec soin, afin d'être capable en permanence de connaître l'état de ceux-ci. Parmi les opérations nécessaires, on trouve :

- le magasinage ;
- la gestion des entrées/sorties ;
- les inventaires.

3.1. Le magasinage

Les stocks d'une entreprise sont placés dans un ou plusieurs magasins afin de les ranger entre leur réception et leur mise à disposition. Pour cette gestion, on trouve deux types d'organisation :

- **gestion monomagasin** : dans ce type d'organisation, tous les produits sont stockés et gérés dans un lieu unique. Il a l'avantage de simplifier la gestion du stock, mais entraîne nécessairement de nombreuses manutentions, donc des délais et des coûts ;
- **gestion multimagasins** : afin de minimiser les manutentions, on préfère parfois répartir les stocks dans plusieurs magasins. Chaque magasin regroupe les produits par type (produits finis, matières premières…) ou en fonction de la proximité géographique.

Pour les produits, on peut également dissocier deux modes de gestion :

- **gestion monoemplacement** : chaque article est stocké dans un et un seul emplacement. Ainsi, le suivi des quantités de cet article est facilité, les opérations d'inventaire sont simplifiées. Cependant, on retrouve l'inconvénient de la gestion monomagasin : les problèmes de manutention.
- **gestion multiemplacements** : dans ce type de gestion, un article peut être stocké à plusieurs endroits. On facilite ainsi les opérations de manutentions, mais il devient difficile d'avoir une vision globale du stock. Outre les problèmes d'inventaire que ce type de gestion induit, il est possible d'avoir un article en rupture dans un emplacement, alors qu'il est disponible dans un autre emplacement. Cependant, ce type de gestion est plus en

accord avec la gestion au point d'utilisation préconisée par l'approche du *Lean Manufacturing*. Dans ce cas, on aura un « stock de masse » localisé dans un magasin de stockage et un « stock bord de ligne » ou « stock libre-service » situé juste à côté des postes de travail.

3.2. La gestion des entrées/sorties

Afin de permettre un suivi des quantités en stock, chaque mouvement de stock (entrée ou sortie) doit faire l'objet d'une transaction. Pour être optimal, il est souhaitable que les mouvements soient saisis en temps réel sur le système informatique de gestion des stocks. On connaît ainsi à chaque moment l'état réel du stock.

La relation entre les quantités réellement en stock et les quantités indiquées par la gestion des stocks dépend de la rigueur avec laquelle les mouvements sont saisis. Toute erreur de saisie se traduira par un écart entre la réalité et les quantités indiquées dans les fichiers. Pour une gestion rigoureuse, il est indispensable de limiter l'accès des magasins aux seules personnes autorisées.

La gestion des entrées/sorties comprend deux types de transaction :

- la réception : elle consiste à entrer un produit dans le magasin. Pour ce type de transaction, il faut vérifier la conformité des produits reçus ainsi que la quantité.
- la sortie : les pièces demandées sont retirées du stock conformément à une commande client (produits finis) ou à un bon de sortie ou à une liste à servir (produits fabriqués).

3.3. Les inventaires

À tout moment, le gestionnaire doit être capable de fournir un état des stocks pour chaque référence en quantité et en emplacement. Pour vérifier la qualité de l'état des stocks (différence entre stock réel et image informatique du stock), il faut effectuer des inventaires et éventuellement remettre à jour l'image informatique du stock. Ceci est nécessaire car il est très difficile dans une entreprise de maintenir en permanence la justesse de l'image informatique des stocks (erreur ou absence de déclaration, pertes, vols, mauvais coefficients dans les nomenclatures, et plus généralement absence de rigueur…).

Un inventaire consiste en une opération de comptage des articles dans les emplacements du magasin. On trouve principalement trois types d'inventaire.

- **l'inventaire permanent** : il consiste à tenir à jour en permanence les quantités en stock de chaque article grâce aux transactions d'entrées et de

sorties (il ne s'agit pas ici d'une vérification de la quantité en stock par comptage) ;

- **l'inventaire intermittent** : il est en général effectué une fois par an en fin d'exercice comptable. Il est effectué pour tous les articles de l'entreprise, d'où une grosse charge de travail qui perturbe son activité ;
- **l'inventaire tournant** : il consiste à examiner le stock par groupe d'articles et à vérifier l'exactitude en quantité et localisation de ces articles. On définit généralement des fréquences d'inventaire tournant différentes selon l'importance de l'article (voir classement ABC).

Les logiciels spécialisés dans la gestion des emplacements de stockage (WMS : *Wharehouse Management Software*) permettent en général de prendre en charge les inventaires en créant chaque jour des listes d'inventaires qui respectent pour chaque article les fréquences de vérification.

4. Quantités économiques

4.1. Position du problème et définitions

Lorsque l'on souhaite approvisionner un produit, on cherche à diminuer au maximum le coût de revient. Pour cela, il faut « ménager la chèvre et le chou » constitués par :

- le coût de stockage (on veut stocker le moins de produits possible) ;
- le coût de lancement (on veut approvisionner le moins souvent possible).

On veut, en fait, optimiser coût de stockage et coût de lancement, et répondre aux deux questions suivantes :

- quand approvisionner ?
- combien approvisionner ?

On notera dans la suite :

- C = consommation annuelle de l'article considéré.
- P = coût ou prix de revient d'un article.
- T = taux de possession des stocks.
- L = coût d'un lancement en fabrication ou coût de passation d'une commande.
- CS = coût annuel de stockage.
- CL = coût annuel de lancement en fabrication ou de passation des commandes.

- CA = coût annuel d'acquisition.
- CGA = coût de gestion annuel.

4.1.1. Calcul du coût de stockage CS

Stocker un produit coûte cher. Les principaux frais comprennent :

- l'intérêt du capital immobilisé qui va de 5 à 15% en fonction des années ;
- le magasinage, le loyer et l'entretien des locaux, l'assurance manutention, environ 6% ;
- la détérioration (de 0 à 10% suivant les produits) ;
- les obsolescences (matériel périmé, vieilli, hors de mode).

Afin de globaliser l'ensemble de ces frais, on calcule un « taux de possession » annuel T % par euro de matériel stocké.

Le taux retenu varie actuellement de 20 à 35% suivant les catégories et articles. Certaines entreprises ont un taux de possession bien supérieur du fait de la très rapide obsolescence de leurs produits (matériel informatique par exemple).

Le coût annuel de stockage se calcule en considérant la valeur financière du stock moyen et en utilisant le taux de possession annuel des stocks vu précédemment.

CS = Stock moyen × Coût de l'article × Taux de possession du stock

4.1.2. Calcul du coût d'une commande ou d'un lancement L

Le coût de passation (L) d'une commande à l'extérieur s'établit en calculant le total des frais de fonctionnement du service achat et du service réception achat. On divise ce total par le nombre total annuel de lignes de commandes (c'est-à-dire un article unique, une quantité, un prix, un délai).

Le coût de lancement en fabrication (L) comporte des frais administratifs et des frais techniques. Pour calculer ce coût, on ajoute aux frais annuels du service ordonnancement, les salaires et les charges annuels des régleurs et les frais d'immobilisation des moyens de production durant les réglages. On divise cette somme par le nombre de lancements effectués sur une année. Dans certains cas, on prend en compte des frais importants de purge, de nettoyage, d'outillages…

4.1.3. Coût annuel d'approvisionnement ou de lancement CL

On parle de coût annuel d'approvisionnement ou de coût annuel de lancement en fabrication, selon qu'il s'agit d'un article acheté ou d'un article fabriqué.

Le coût annuel d'approvisionnement ou de lancement est le total des coûts de lancement pour un article sur une année.

CL = L × (Nombre d'approvisionnements ou Nombre de lancements en fabrication)

4.1.4. Coût d'acquisition annuel CA

Ce coût représente le coût nécessaire pour l'achat des quantités nécessaires sur une année (pour un article acheté), ou alors le coût nécessaire pour l'obtention des quantités nécessaires sur une année (pour un article fabriqué) :

CA = Consommation annuelle × Coût de revient de l'article = C × P

4.2. Minimisation du coût de gestion annuel CGA

Le coût annuel total de gestion d'un article est la somme du coût de possession annuel du stock moyen, du coût annuel d'approvisionnement ou de lancement en fabrication et du coût annuel d'acquisition.

CGA = CS + CL + CA

Soit Q la quantité approvisionnée ou lancée en fabrication à chaque période. Ce que l'on va chercher ici, c'est la quantité Q qui va minimiser le coût de gestion annuel de l'article (Qe).

On supposera pour résoudre ce problème, les hypothèses simplificatrices suivantes :

- les coûts sont proportionnels au nombre de pièces achetées (il n'y a pas de rabais pour quantité) ;
- il n'y a pas de pénurie (pas de coût pour rupture de stock) ;
- la demande est régulière ;
- les coûts de stockage et de commande ou lancement sont définis et constants.

Nous avons vu au paragraphe 1.4. que, si l'on suppose la demande régulière, le stock moyen est Q/2. En considérant la première hypothèse, la valeur financière que représente ce stock moyen est :

$$\frac{Q}{2}.P$$ avec P le coût unitaire de l'article

Compte tenu du taux de possession T défini au paragraphe 4.1.1, le coût de stockage est donc :

$$CS = \frac{Q}{2}.P.T$$

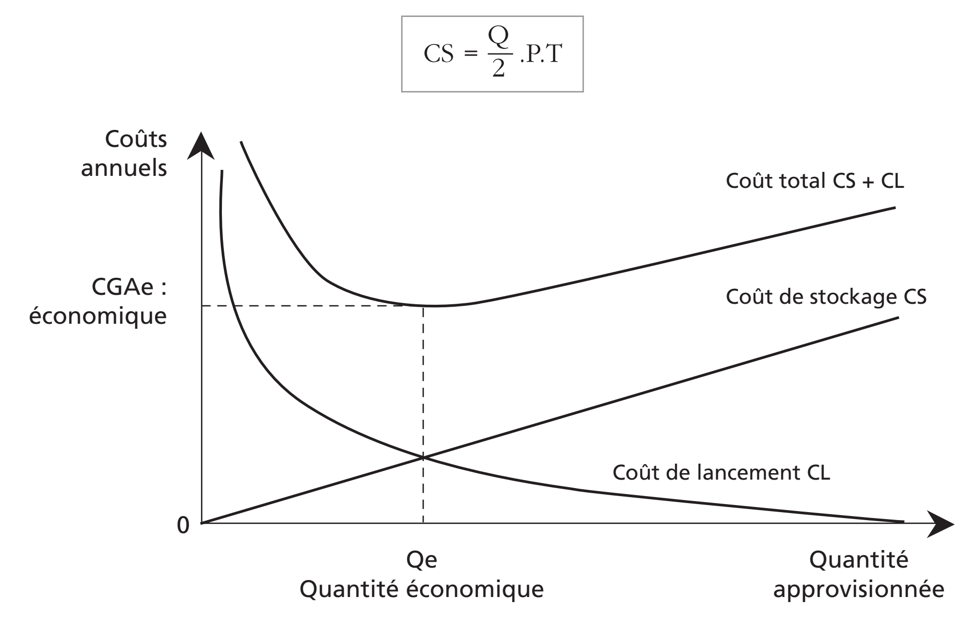


Figure 3.7 – Coût économique et quantité économique

Le nombre de commandes passé par an ou le nombre de lancement par an est égal à C/Q, d'où un coût d'approvisionnement ou de lancement annuel en fabrication :

$$CL = \frac{C}{Q}.L$$

Le coût de gestion annuel de l'article est donc :

$$CGA = \frac{C}{Q}.L + \frac{Q}{2}.P.T + C.P$$

On cherche la quantité Qe qui rend ce coût le plus faible possible.

Le minimum de CGA correspond à $\frac{\partial CGA}{\partial Q} = 0$,

soit : $$\frac{\partial CGA}{\partial Q} = \frac{\partial}{\partial Q}\left(\frac{C}{Q}.L + \frac{Q}{2}.P.T + C.P\right) = -\frac{C.L}{Q^2} + \frac{P.T}{2} = 0$$

d'où :

$$Qe = \sqrt{\frac{2.C.L}{P.T}}$$

Cette expression, appelée « formule de WILSON », donne la quantité économique d'approvisionnement ou de lancement en fabrication Qe. On peut en déduire un nombre économique de commandes à passer par an :

$$Ne = \frac{C}{Qe}$$

Et aussi une période économique (en jours, semaines ou mois) :

$$Pe = \frac{365\ \text{jours}}{Ne} \quad Pe = \frac{52\ \text{semaines}}{Ne} \quad Pe = \frac{12\ \text{mois}}{Ne}$$

Remarques : on peut aussi ne prendre en compte que les jours ouvrés pour déterminer la période. Des arrondis doivent être pratiqués soit sur la quantité économique (pour la méthode du point de commande par exemple), ou alors pour la période (pour la méthode du recomplètement périodique par exemple).

Exemple

L'entreprise **iTechMedia** utilise des rouleaux de Scotch de 60 mètres pour fermer les cartons d'emballage. La consommation relevée durant les douze derniers mois est la suivante :

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
Consommation en rouleaux de Scotch	27	29	32	30	27	30	30	32	32	34	34	54

Le prix d'achat d'un rouleau est de 3,75 €. Le taux de possession des stocks a été estimé à 20% et le coût de passation d'une commande de rouleau de Scotch à 15 €. Donc :

- C = 391 rouleaux par an
- T = 20%
- L = 15 €
- P = 3,75 €

On en déduit que la quantité économique d'approvisionnement sera de :

$$Qe = \sqrt{\frac{2 \times 391 \times 15}{3{,}75 \times 0{,}2}} = 125{,}06 \quad \text{soit } Qe = 125$$

Ce qui correspond à un approvisionnement tous les $\frac{365 \times 125}{391} = 116{,}69$ jours

4.3. Cas des remises

Dans l'application que nous venons de traiter, le coût des produits est supposé constant quelle que soit la quantité de produit approvisionnée. Ce n'est pas toujours le cas, il y a parfois des remises en fonction de la quantité. Le calcul de la quantité économique est alors légèrement différent du cas précédent. Le coût total n'est pas une courbe continue comme dans le cas précédent, mais la succession de plusieurs courbes (figure 3.8). L'optimum n'est pas forcément la quantité économique. Étudions ce cas sur un exemple.

Le fournisseur de rouleaux de Scotch nous informe que le tarif sera désormais le suivant :

Quantité < 500	P1 = 3,75 €
Quantité ≥ 500	P2 = 3,60 €

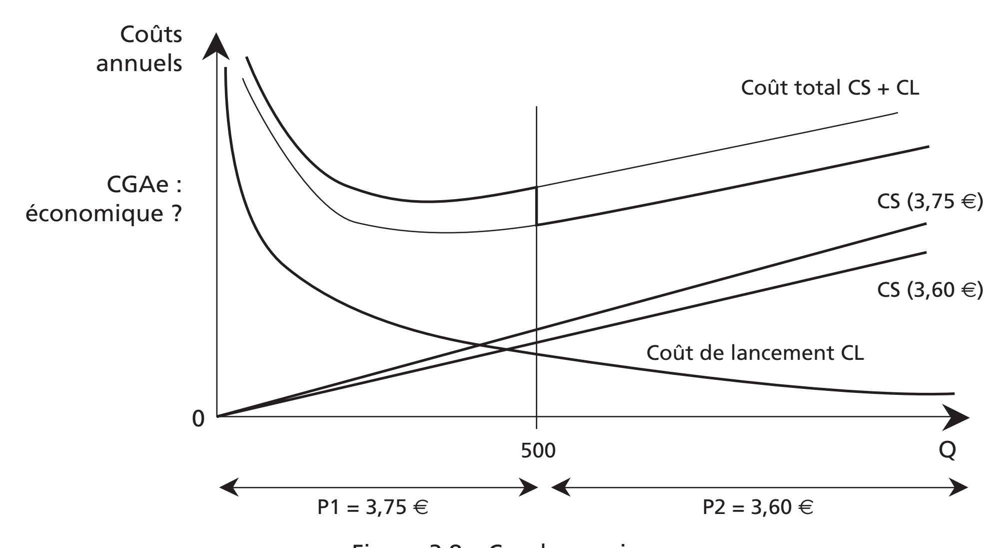


Figure 3.8 – Cas des remises

Calcul de la quantité économique pour P1 = 3,75 €

$$Qe1 = \sqrt{\frac{2.C.L}{P1.T}} = \sqrt{\frac{2 \times 391 \times 15}{3,75 \times 0,2}} = 125,06 \quad \text{donc } Qe1 = 125$$

Nous avons déjà calculé précédemment cette quantité économique. La quantité économique trouvée (125) fait partie de la zone de validité du prix (entre 0 et 500). Cela nous donne bien un minimum pour le coût annuel de gestion de l'article dans la zone 0 à 500.

Calcul de la quantité économique pour P2 = 3,60 €

$$Qe2 = \sqrt{\frac{2.C.L}{P2.T}} = \sqrt{\frac{2 \times 391 \times 15}{3,60 \times 0,2}} = 127,74$$

Cette quantité économique ne fait pas partie de la zone de validité du prix car 127,74 est inférieur à 500. Dans la zone 500 et plus, le coût minimal est atteint pour la quantité Qe2 = 500.

Nous avons donc deux coûts minimaux. Pour savoir quelle est la quantité la plus avantageuse il faut calculer le coût de gestion annuel dans les deux cas :

$$CGA1 = C.P1 + \frac{C}{Qe1}.L + \frac{Qe1}{2}.P1.T = 391 \times 3,75 + \frac{391}{125} \times 15 + \frac{125}{2} \times 3,75 \times 0,2 = 1560,05 \text{ €}$$

$$CGA2 = C.P2 + \frac{C}{Qe2}.L + \frac{Qe2}{2}.P2.T = 391 \times 3,60 + \frac{391}{500} \times 15 + \frac{500}{2} \times 3,60 \times 0,2 = 1599,33 \text{ €}$$

On voit donc que, dans ce cas précis, il n'est pas intéressant de commander les rouleaux de Scotch par 500 (comme le fournisseur voulait nous inciter à le faire) car, au final, cela revient plus cher.

4.4. Coût économique et zone économique

La courbe CGA = f(Q) présente un optimum relativement plat d'où la notion de zone économique, une zone de faible variation du coût d'approvisionnement autour du coût d'approvisionnement économique.

Le coût total étant donné par : $CGA = C.P + \frac{C}{Q}.L + \frac{Q}{2}.P.T$

Le coût économique vaut : $CGAe = C.P + \frac{C}{Qe}.L + \frac{Qe}{2}.P.T$

On définit l'écart économique : E = CGA – CGAe = CGA(Q) – CGA(Q_e) auquel correspond la zone économique Ze (figure 3.9).

Un développement de Taylor limité au deuxième ordre (en négligeant le reste) donne :

$$CGA(Q) = CGA(Qe) + (Q - Qe).CGA''Qe) + \frac{(Q - Qe)^2}{2}.CGA''(Qe)$$

or CGA'(Q_e) = 0 puisque Qe correspond au minimum de C

et, en dérivant $CGA' = \frac{\partial CGA}{\partial Q}$, on calcule $CGA''(Qe) = 2.\frac{C.L}{Qe^3}$

On a donc :

$$E = CGA - CGAe = \frac{C.L}{Qe^3}.(Q - Qe)^2$$

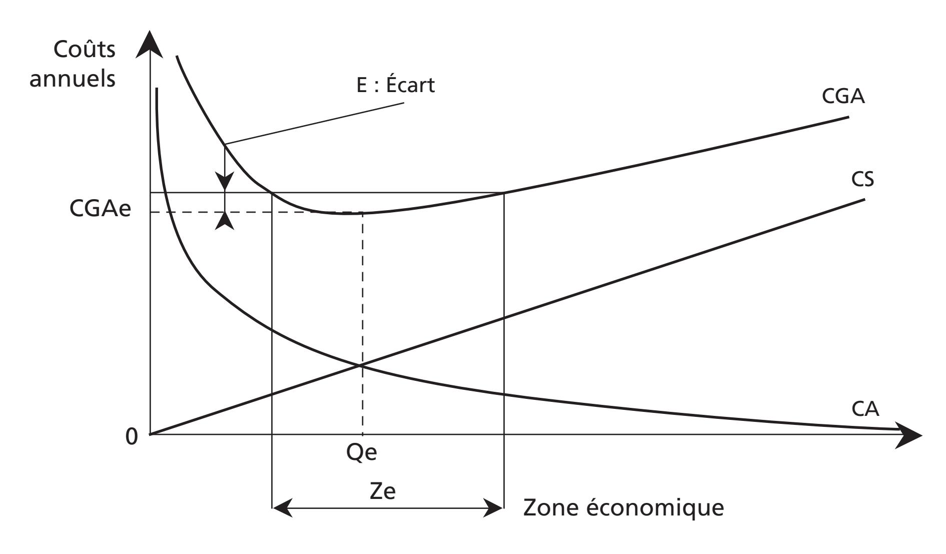


Figure 3.9 – Coût économique et zone économique

On montre bien ainsi que l'écart économique est faible puisque la quantité économique Qe intervient à la puissance trois et au dénominateur.

Pour un certain écart économique E, on peut déterminer la fourchette autour de la quantité Qe :

$$Q - Qe = \pm\sqrt{\frac{E.Qe^3}{C.L}} \quad \text{donc} \quad Q = Qe \pm \sqrt{\frac{E.Qe^3}{C.L}}$$

Exemple

Le fournisseur de rouleaux de Scotch de l'entreprise **iTechMedia** conditionne les rouleaux par carton de 30, or la quantité économique de 125 rouleaux n'est pas un multiple de 30. Imaginons que l'on accepte un écart E de coût autour du coût économique de 1 €. Dans ce cas on a :

$$Q = 125 \pm \sqrt{\frac{1{,}125^3}{391{,}15}} = 18{,}25 \approx 18 \quad \text{donc} \quad 170 \leq Q \leq 143$$

On peut donc commander 120 rouleaux, soit 4 cartons de 30 rouleaux, sans que cela coûte beaucoup plus à l'entreprise. Le coût de gestion annuel sera en effet de :

$$CGA = 3913{,}75 + \frac{391}{120} \times 15 + \frac{391}{120} \times 3{,}7502 = 1560{,}13 \text{ €}$$

soit 0,09 € de plus qu'avec la quantité économique de 125 rouleaux.

5. Méthodes de réapprovisionnement

5.1. Introduction

Une entreprise doit posséder, en temps voulu, les matières et les produits nécessaires à la production, à la maintenance et à la vente. À cet effet, il faut déterminer quelles quantités commander et à quelles dates, afin que le coût global soit le moins élevé possible. Ce problème est naturellement indissociable de la gestion des stocks.

Le mode de réapprovisionnement choisi doit faire preuve d'une grande souplesse pour être adaptable en cas de variation de la consommation.

Les différents modes d'approvisionnement s'articulent autour de deux paramètres :

- la quantité commandée qui peut être fixe ou variable ;
- le réapprovisionnement qui peut être fait à périodes fixes ou variables.

Cela permet d'envisager quatre méthodes :

	Période fixe	Période variable
Quantité fixe	Méthode du réapprovisionnement fixe	Méthode du point de commande
Quantité variable	Méthode du recomplètement périodique	Approvisionnement par dates et quantités variables

Nous allons étudier successivement ces diverses méthodes en commençant par la plus simple.

5.2. Méthode du réapprovisionnement fixe

Exemple : 1000 vis tous les 10 du mois.

Ce type de contrat, extrêmement simple, constitue plus un cas d'école qu'une réalité d'entreprise compte tenu de la régularité qu'il implique. Il peut être utilisé pour les articles de faible valeur (catégorie C de l'analyse ABC) dont la consommation est régulière et qui ne sont pas fabriqués par l'entreprise.

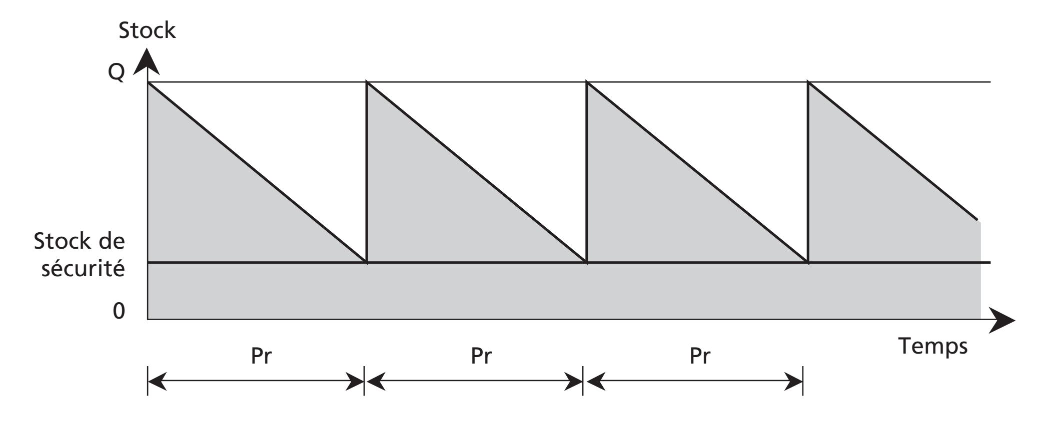


Figure 3.10 – Réapprovisionnement à dates fixes et par quantités fixes

On définit un stock de sécurité qui est un stock supplémentaire qui sert à protéger l'entreprise d'une rupture en cas d'aléas.

Les quantités commandées seront voisines de la quantité économique (Qe) et la période de commande (Pr) sera proche de la période économique (Pe).

5.3. Méthode du recomplètement périodique

Cette méthode consiste à recompléter de façon régulière le stock pour atteindre un niveau de recomplètement appelée ici NR.

Pour calculer le niveau de recomplètement NR, il faut tenir compte de la consommation moyenne par unité de temps (Cmoy), du délai de réalisation ou d'approvisionnement de l'article (D), de la période de passation des commandes ou de lancement (d) et d'un stock de sécurité dimensionné pour éviter des ruptures dues à la variabilité de la consommation réelle (SS).

NR = Cmoy*(D + d) + SS

Exemple : tous les 10 du mois, le magasinier passe une commande de vis en fonction du niveau de stock constaté, afin de porter celui-ci à 2000 vis.

Pour cette méthode, on suppose que la consommation est régulière, et que la consommation annuelle est connue. Il est possible de fixer la périodicité des commandes à partir de la formule de Wilson (Pe).

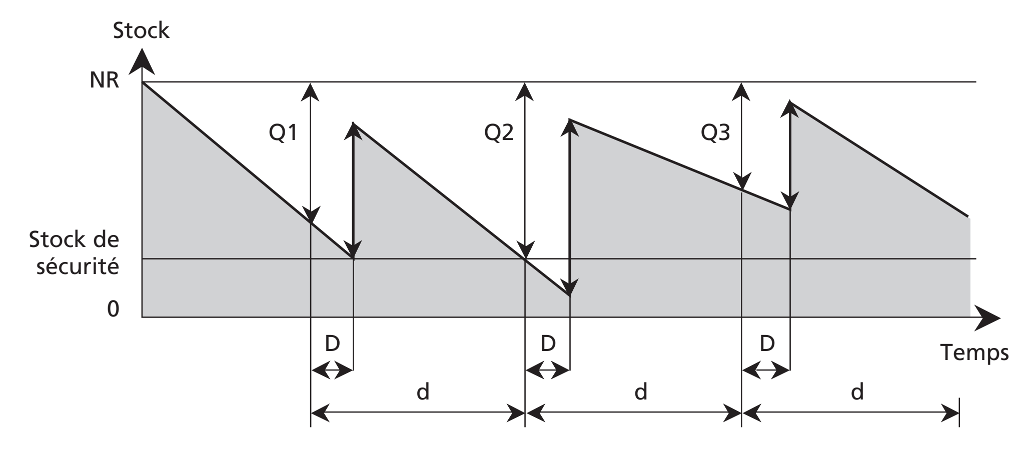


Figure 3.11 – Méthode du recomplètement

Calcul de la quantité à commander à chaque période : Qi

Qi = NR – Stock de l'article au moment de passer la commande

L'intérêt principal d'une telle politique d'approvisionnement est de permettre de grouper sur une même commande plusieurs articles différents achetés chez un même fournisseur.

On distinguera ainsi les commandes semestrielles, bimestrielles, mensuelles… et on répartira les différentes commandes de façon à équilibrer le planning d'activité du service.

5.4. Méthode du point de commande

Exemple : dès que le stock de vis atteint la valeur limite de 250 unités, déclencher une commande de 1000 pièces.

Le point de commande est le niveau de stock qui permet de déclencher l'ordre d'approvisionnement ou le lancement en fabrication. Le point de commande

est défini comme étant le niveau de stock nécessaire pour couvrir les besoins durant le délai d'approvisionnement ou de fabrication.

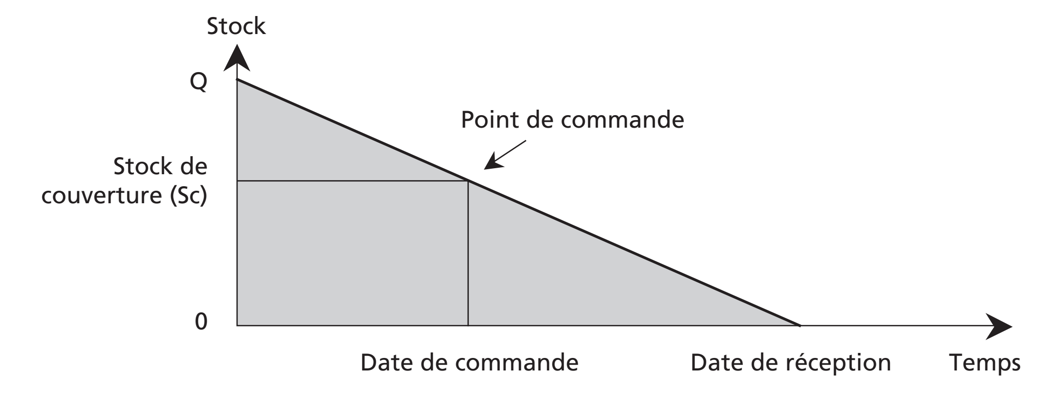


Figure 3.12 – Le point de commande

Le schéma est bien sûr purement théorique. Le délai d'approvisionnement n'est pas sans aléa, et par ailleurs la consommation peut être plus importante que prévue (figure 3.13).

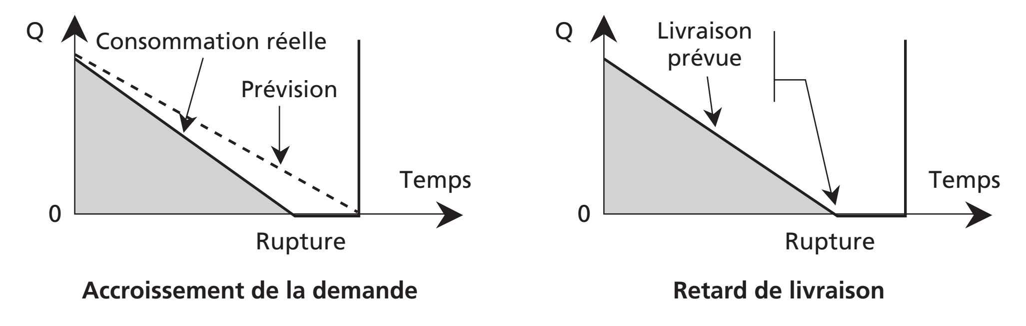


Figure 3.13 – Rupture de stock

Le problème posé consiste à évaluer :

- le délai d'approvisionnement moyen probable ;
- la consommation moyenne probable pendant le délai d'approvisionnement ;
- les écarts probables de consommation ;
- les écarts éventuels de délai.

Afin d'éviter la rupture de stock, on prévoit un stock de sécurité qui permet d'absorber « l'imprévisible ».

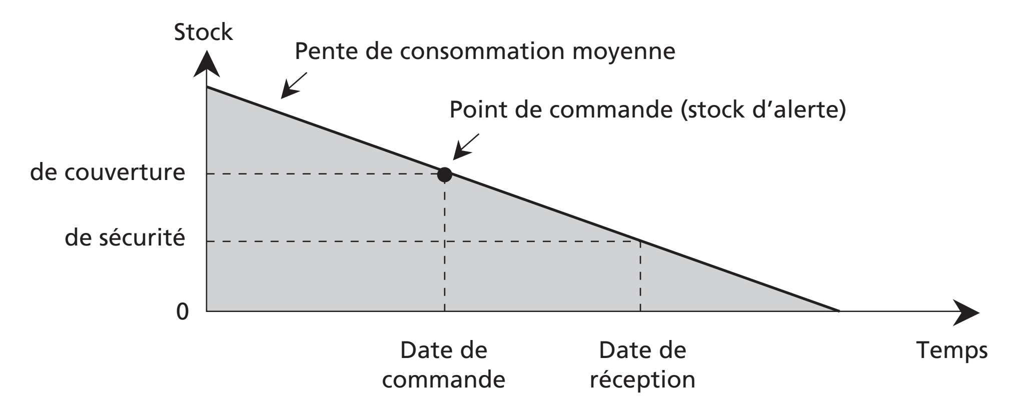


Figure 3.14 – Stocks de couverture et de sécurité

Pour calculer le point de commande (PC), il faut tenir compte de la consommation moyenne par unité de temps (Cmoy), du délai de réalisation ou d'approvisionnement de l'article (D) et d'un stock de sécurité dimensionné pour éviter des ruptures dues à la variabilité de la consommation réelle (SS).

PC = Cmoy*D + SS

Les quantités commandées, quant à elles, peuvent être calculées grâce à la formule de la quantité économique (Qe). Le gestionnaire suit l'évolution du stock aussi fréquemment que possible afin de détecter le franchissement du point de commande.

Remarquons que :

- le stock de couverture est un stock vivant ;
- le stock de sécurité est un stock dormant.

La figure 3.15 illustre le cycle de commande : lorsque la quantité en stock atteint le niveau d'alerte (points M_i) on déclenche une commande. Dans le cas M_3, le stock de sécurité évite la rupture de stock.

Un problème se pose dans le cas où la quantité économique d'achat ne permet pas au stock de passer au-dessus du point de commande.

Le risque de rupture est illustré par la figure 3.16. Dans ce cas, il faut raisonner sur un stock fictif.

Le point de commande est alors pris en tenant compte du stock de sécurité ajouté au stock nécessaire pour couvrir le délai d'approvisionnement. On

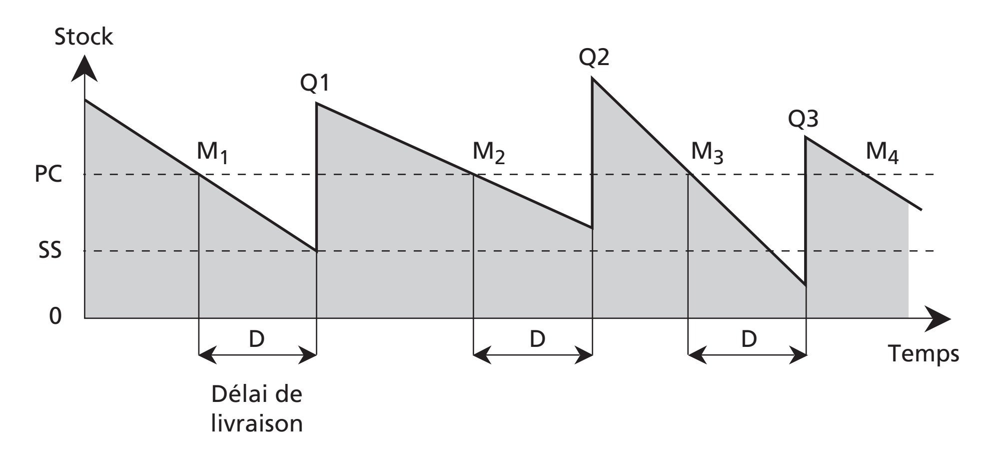


Figure 3.15 – Réapprovisionnement constant avec point de commande et stock de sécurité

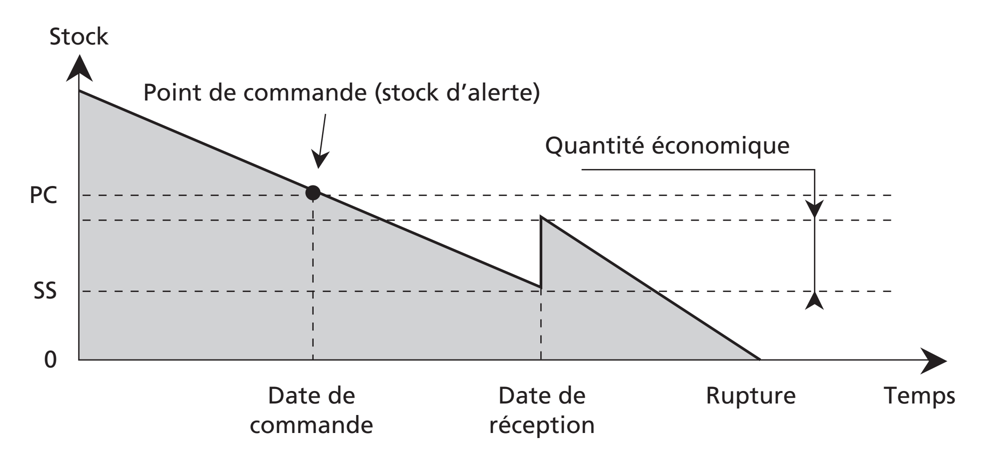


Figure 3.16 – Rupture de stock par quantité économique inférieure au point de commande

définit alors un stock fictif (figure 3.17) réapprovisionné dès le déclenchement de la commande. Une nouvelle commande est alors passée lorsque le stock fictif atteint le point de commande.

Dans l'exemple de la figure 3.17, on note que la deuxième commande est alors passée avant que la première réception ne soit arrivée.

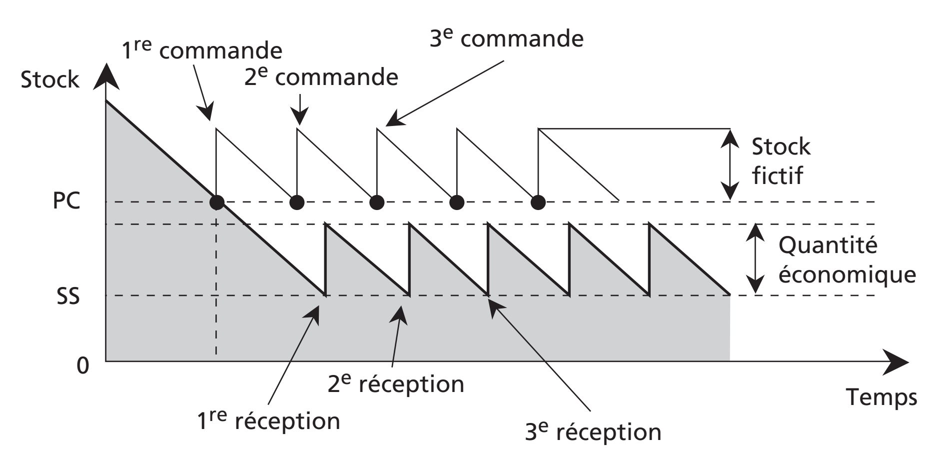


Figure 3.17 – Stock fictif permettant d'éviter la rupture

5.5. Calcul du stock de sécurité

Deux possibilités pour déterminer un stock de sécurité :

- la méthode empirique : prendre une valeur habituelle, historique, qui a toujours donné satisfaction – ceci n'interdit pas de se demander si cette valeur habituelle n'est pas trop élevée ;
- la méthode calculatoire : calculer le stock de sécurité en fonction de la variabilité de la consommation passée ainsi que du délai de réapprovisionnement : c'est cette approche qui sera détaillée par la suite…

Problème : on veut calculer le stock de sécurité permettant d'avoir x % de chance de ne jamais être en rupture de stock.

Ce problème n'est pas simple car la demande n'est pas constante mais aléatoire. De plus, les délais de livraison ou de fabrication, eux-mêmes peuvent être aléatoires.

Voyons deux méthodes qui permettent d'évaluer le stock de sécurité.

5.5.1. Utilisation de la répartition de Gauss

Consommation variable et délai de livraison fixe

Considérons un laps de temps T comprenant un assez grand nombre de périodes P de consommation et faisons les hypothèses simplificatrices suivantes :

- le délai de livraison D est fixe (D est exprimé en nombre de périodes P) ;

- la consommation par période varie autour d'une moyenne et suivant une loi normale d'écart-type σ_x ;
- sur le laps de temps T, on considère que les périodes sont indépendantes.

Il y a donc additivité des variances :

$$\sigma_{x.D}^2 = D.\sigma_x^2$$

La consommation sur la période égale au délai (D) suit donc une loi normale d'écart-type :

$$\sigma_{x.D} = \sigma_x.\sqrt{D}$$

Figure 3.18 – Évaluation statistique du risque de rupture

Le stock de sécurité est donc égal à :

$$SS = z.\sigma_x.\sqrt{D}$$

où z est un facteur associé au taux de service ou au risque de rupture choisi.

Taux de service	Risque de rupture	Facteur *z* correspondant
70 %	30 %	0,52
80 %	20 %	0,84
84,14 %	15,86 %	1
90 %	10 %	1,28
95 %	5 %	1,64
97,5 %	2,5 %	1,96
97,73 %	2,27 %	2

Taux de service	Risque de rupture	Facteur *z* correspondant
99 %	1 %	2,33
99,86 %	0,14 %	3
99,9 %	0,1 %	3,09

On remarquera de façon logique qu'un taux de service élevé entraîne un stock de sécurité important. On note tout de suite l'intérêt fondamental de réduire de façon considérable le délai de fabrication ou d'approvisionnement afin de pouvoir diminuer le stock de sécurité.

Dans le cas de la méthode du point de commande, l'incertitude ne concerne que la variation de consommation pendant le délai de fabrication ou d'approvisionnement (D) donc :

$$SS = z.\sigma_x.\sqrt{D}$$

mais dans le cas de la méthode du recomplètement périodique, l'incertitude concerne la variation de consommation pendant le délai de fabrication ou d'approvisionnement et aussi pendant la période (d) qui correspond aux passations de ces mêmes commandes donc :

$$SS = z.\sigma_x.\sqrt{D + d}$$

Consommation fixe et délai variable

Soit σ_1 (jours), l'écart type de la variation des délais de livraison exprimés en jours.

Effectuons un changement de variables jour → consommation :

$$\sigma_1(\text{conso}) = (\text{Consommation/jour}).\sigma_1(\text{jours})$$

Le stock de sécurité est donc égal à :

$$SS = z.\sigma_1$$

où z est la variable réduite associée au risque de rupture choisi.

Consommation et délai variables

La consommation et le délai étant des variables indépendantes, on peut appliquer le théorème d'additivité des variances. Dans le cas de l'utilisation de la méthode du point de commande cela donne :

$$\sigma^2 = \sigma_1^2 + D.\sigma_{x.D}^2$$ Le stock de sécurité est alors égal à : $SS = z.\sigma$

Dans le cas de l'utilisation de la méthode du recomplètement périodique cela donne :

$$\sigma^2 = \sigma_1^2 + (D + d).\sigma_{x.D}^2$$ Le stock de sécurité est alors égal à : $SS = z.\sigma$

Exemple 1

Reprenons le cas de l'entreprise **iTechMedia** qui doit approvisionner les rouleaux de Scotch. L'entreprise souhaite gérer le stock de rouleaux avec la méthode du point de commande. Nous avons déjà précédemment calculé la taille de lot économique et trouvé une taille de lot pratique de 120 rouleaux soit 4 cartons de 30 rouleaux (cf. 4.4). Le délai d'approvisionnement des rouleaux ne dépasse jamais une semaine. Nous ferons l'hypothèse ici qu'un mois comprend 4 semaines. Le taux de service que l'entreprise souhaite atteindre est de 99%.

La consommation sur l'année passée est la suivante :

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
Consommation en rouleaux de Scotch	27	29	32	30	27	30	30	32	32	34	34	54

L'écart-type des consommations mensuelles vaut : $\sigma_x = 7{,}12816$

Pour un taux de service de 99% il faut prendre un facteur *z* de 2,33 et le délai (exprimé en fonction de la taille de la période d'analyse des consommations) est de 0,25 mois. Donc :

$$SS = z.\sigma_x.\sqrt{D} = 2{,}33 \times 7{,}12816 \times \sqrt{0{,}25} = 8{,}3043$$

Comme la consommation mensuelle moyenne est de 391/12 = 32,5833, le point de commande à utiliser sera donc :

PC = Cmoy*D + SS = 32,5833 × 0,25 + 8,3043 = 16,45 soit 17 rouleaux

Cette quantité de 17 rouleaux correspond à peu près à un demi-carton. Si la gestion du stock de cet article est informatisée, ce n'est pas gênant de garder ce point de commande à 17, mais si l'on souhaite gérer ce stock visuellement, sans informatique, alors il peut être intéressant d'arrondir le point de commande à 30, soit 1 carton. De cette façon la gestion devient très simple : dès qu'il ne reste qu'un carton de rouleaux en stock on passe une commande de 4 cartons !

Exemple 2

L'entreprise **iTechMedia** utilise des petites vis pour l'assemblage des baladeurs multimédias (8 vis par appareil). Les vis sont livrées par sachet de 100 et le prix d'un sachet est de 2,40 €. Le taux de possession des stocks est de 20% et le coût de passation d'une commande a été estimé à 15 €. L'entreprise souhaite gérer ces vis par la méthode du recomplètement périodique. Le délai d'approvisionnement de ces vis est, à peu près, d'une semaine. Le taux de service souhaité par l'entreprise est de 99,9% car celle-ci ne souhaite pas arrêter les lignes de montage à cause d'une rupture de stock d'un élément aussi peu cher.

La consommation des vis sur la dernière année est la suivante :

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
Sachets de vis	640	680	760	720	640	720	720	760	760	800	800	1 280

Les 10 derniers délais de livraison constatés sont les suivants :

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Délai en jours	5	4	6	7	5	5	6	5	6	4

Détermination de la périodicité des commandes

Nous allons, dans un premier temps, calculer la période économique à partir du calcul de la quantité économique de commande. Sachant que la consommation annuelle est de 9280 sachets de vis, nous pouvons calculer la quantité économique :

$$Qe = \sqrt{\frac{2.C.L}{P.T}} = \sqrt{\frac{2 \times 9280 \times 15}{2,4 \times 0,2}} = 761,57 \quad \text{donc} \quad Ne = \frac{9280}{761,57} = 12,19$$

En arrondissant un peu, cela fait donc 12 commandes par an, soit une périodicité mensuelle (1 commande par mois soit d = 1 mois).

Détermination du stock de sécurité

Il faut donc prendre en compte ici la variabilité de la consommation et la variabilité du délai.

Pour la variation des consommations mensuelles on a :

$$\sigma_x = 168,27$$

Pour la variation du délai on a :

$$\sigma_1(\text{jours}) = 0,9487$$

Donc :

$$\sigma_1(\text{conso}) = (\text{Consommation/jour}).\sigma_1(\text{jours}) = \frac{9280}{365} \times 0,9487 = 24,12$$

La variance globale sera donc de :

$$\sigma^2 = \sigma_1^2 + (D + d).\sigma_{x.D}^2 = 24,12^2 + (0,25 + 1) \times 168,27^2 = 35975,71 \text{ soit } \sigma = 189,67$$

Pour un taux de service de 99,9% il faut prendre un facteur z de 3,09. Le stock de sécurité est donc égal à :

$$SS = z.\sigma = 3,09 \times 189,67 = 586,09$$

Détermination du niveau de recomplètement

La consommation moyenne mensuelle est égale à la consommation annuelle divisée par 12 soit 773,33 sachets par mois. Donc :

NR = Cmoy*(D + d) + SS = 773,33 × (1 + 0.25) + 586,09 = 1552,75
soit 1553 sachets de vis

Remarque : on voit que la consommation des vis augmente, on aurait donc intérêt à revoir les paramètres de gestion de temps en temps (tous les quatre mois par exemple). On aurait intérêt aussi à se fonder sur du prévisionnel (c'est-à-dire la consommation prévue pour la future année si l'on dispose de cette information), plutôt que de prendre en compte la consommation du passé. Une autre solution, bien sûr, est d'ajouter ces vis dans les nomenclatures, et d'utiliser la planification détaillée pour gérer ce stock (voir chapitre 5 : Planification détaillée).

5.5.2. Utilisation des tirages croisés (méthode de Monte Carlo)

Dans la démarche précédente, nous avons supposé que la distribution des consommations et des délais de livraison (ou de fabrication) étaient de type gaussien. Ce n'est bien entendu pas toujours le cas. Les distributions ne suivent parfois aucune des distributions classiques.

Méthodologie

Le problème consiste à prévoir la consommation pendant la durée séparant la commande et la réception. D'après l'historique de l'entreprise, on établit, par exemple, un tableau C comportant les délais d'obtention des 15 dernières commandes et un tableau P des 100 dernières productions journalières. On peut alors déterminer la distribution de la consommation pendant le laps de temps entre commande et réception en appliquant le petit algorithme suivant :

```
DÉBUT
    Pour i : = 1 à 1000 Faire
        Consommation : = 0
        Tirer-Hasard Délai dans C
        Pour j : = 1 à Délai Faire
            Tirer-Hasard Production dans P
            Consommation : = Consommation + Production
```

…/…

```
            Fin Faire
            Distribution[i] : = Consommation
      Fin Faire
      Tracer histogramme (Distribution)
FIN
```

L'histogramme généré ne suit pas une loi normale, la distribution trouvée est quelconque, mais représentative de la production considérée en fonction de l'historique. Le stock de sécurité est déterminé par estimation sur l'histogramme obtenu (figure 3.19).

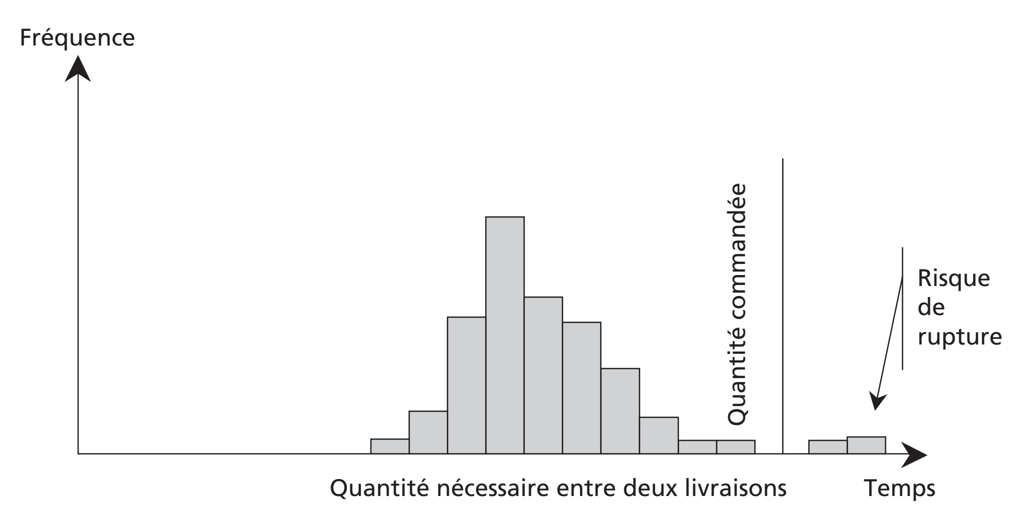


Figure 3.19 – Détermination de la quantité par la méthode de Monte Carlo

5.6. Approvisionnement par dates et quantités variables

Souvent appelées méthodes hybrides, il s'agit de la gestion d'articles coûteux appartenant donc à la catégorie A (de la classification ABC) dont les prix varient et qui présentent un caractère plus ou moins spéculatif ou stratégique (métaux et diamants en particulier).

L'attention demandée par cette méthode ne la rend exploitable que pour un nombre très réduit d'articles : au plus une dizaine par gestionnaire.

L'apparition des techniques de planification détaillée décrites au chapitre 5 (Calcul des besoins, PDP…) a démodé ces méthodes.

6. Domaine d'application des méthodes traditionnelles de gestion des stocks

6.1. Les limites de la gestion des stocks traditionnelle

Les techniques de calculs que nous venons d'exposer dans ce chapitre ont un domaine d'application relativement réduit dans une gestion de production moderne. Il existe en effet plusieurs limites à l'utilisation de ces méthodes.

Les hypothèses de départ

Les calculs sont faits dans le cadre d'hypothèses simplificatrices qui seront rarement vérifiées dans la pratique. Rappelons les principales hypothèses :

- il n'y a pas de pénurie (pas de rupture de stock) ;
- la demande est régulière ;
- les coûts de stockage et de commande ou lancement sont définis et constants.

En fait, les données du calcul sont variables (quantités consommées non régulières, coûts des commandes et des lancements variables…). L'utilisation de ce type de méthode de gestion des stocks doit donc être limitée aux cas de figures se rapprochant le plus possible des hypothèses simplificatrices.

La philosophie sous-jacente ne pousse pas à l'amélioration continue

La gestion de production moderne, quelle qu'elle soit, tend vers des stocks aussi faibles que possible conduisant à un coût de stockage minimal. Mais il est alors nécessaire d'effectuer de nombreux lancements (et commandes) agissant sur le coût total. Au lieu de contourner le coût de ces lancements répétés par un approvisionnement en quantités importantes, une autre manière de voir les choses consiste à s'attaquer au problème lui-même : abaisser le coût de lancement en fabrication (par la réduction des temps de changement de série) ou le coût de commande (par la recherche de fournisseurs proches par exemple).

Ceci a été la cause de tous les progrès spectaculaires obtenus dans la réduction du temps et coûts de changement de série (application de la méthode SMED par exemple). C'est évidemment cette attitude que doit avoir le gestionnaire de production actuel. De même, par des relations de partenariat entre fournisseur et client, on peut établir des contrats en commande ouverte qui minimisent la quantité de papier nécessaire pour chaque livraison.

Un autre problème consiste d'une part dans la généralisation sur tous les articles de stock de sécurité assez important et d'autre part, face aux ruptures

constatées, à une augmentation régulière de ceux-ci. Tout ceci est contraire à l'esprit du *Lean Manufacturing*…

On ne tient pas compte du couplage entre le besoin en produits finis et le besoin en composants.

Les méthodes de gestion des stocks exposées dans ce chapitre sont totalement inadaptées pour la gestion des composants entrant dans la fabrication d'un produit fini. En effet, dans ce cas, il ne faudra pas approvisionner en fonction de la consommation du composant, mais en fonction de la demande prévisionnelle compte tenu du programme de fabrication du produit fini. On utilise alors la méthode MRP (voir chapitre 5 : Planification détaillée) qui est beaucoup plus adaptée.

En effet, dans les hypothèses de la gestion traditionnelle des stocks, le couplage entre la demande en produits finis (demande client) et le besoin en composants n'est donné que par l'historique :

- consommation moyenne ;
- délais de réapprovisionnement.

En cas d'augmentation brutale de la consommation, les méthodes exposées ci-dessus conduisent inévitablement à une rupture de stock, car les commandes reçues n'interviennent pas dans le calcul des ordres d'achat. Parallèlement, en cas de diminution brutale de la consommation, les méthodes de gestion des stocks conduisent à un gonflement excessif de ceux-ci. Il est alors indispensable d'utiliser des méthodes qui lient les commandes aux achats de façon structurée.

Dans le cas contraire, le gestionnaire pilote ses stocks à l'image d'un conducteur avançant dans le brouillard et se dirigeant grâce à ses rétroviseurs. Le gestionnaire devient peu à peu un « chasseur de pièces » essayant d'accélérer la production des articles en retard, au détriment des autres, qui seront donc retardés à leur tour, etc.

Le facteur temps n'intervient pas

Selon la manière traditionnelle de gestion des stocks décrite précédemment, seul l'aspect volume est pris en compte. Une deuxième dimension, pourtant essentielle, n'intervient pas : le temps. Nous verrons dans cet ouvrage que la méthode MRP introduit cette donnée essentielle grâce à une planification dans le temps des besoins et des ordres d'approvisionnement et de fabrication.

7. Les unités de stockage

Bien qu'une gestion de production idéale doive conduire à une production avec un minimum de stock, il n'est pas possible de concevoir une unité de production sans stock. La conception des zones de stockage doit répondre à des critères très similaires à ceux qui seront décrits dans le chapitre 14 (L'implantation d'atelier) :

- minimiser les surfaces nécessaires ;
- minimiser les opérations de transport ;
- garantir la sécurité des biens et des personnes.

7.1. Les différentes zones d'un lieu de stockage

Comme le montre la figure 3.20, une zone de stockage ne se limite pas à un empilage de rayonnages, mais il convient de dissocier différentes zones aussi bien pour un flux entrant que pour un flux sortant.

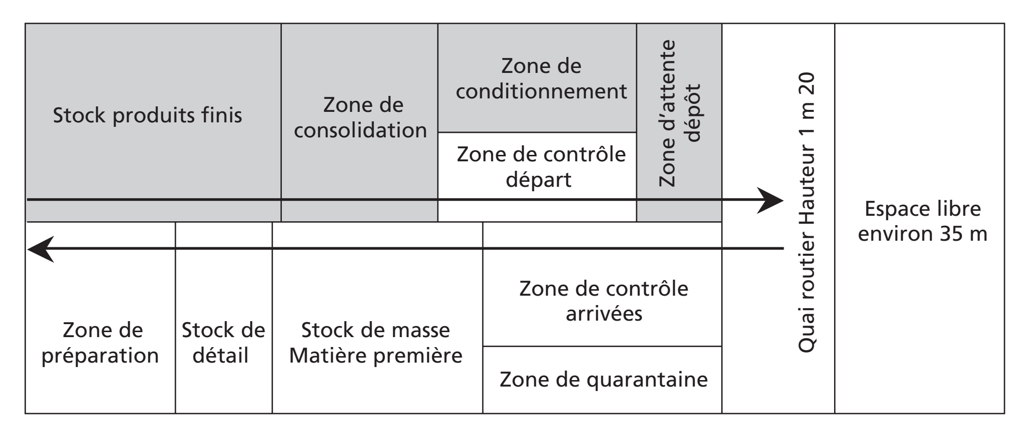


Figure 3.20 – Différentes zones d'un stock

Flux entrant

- Le quai de déchargement : sur lequel arrivent les palettes et/ou produits par route ou voie ferrée.
- La zone de contrôle arrivée : dans cette zone sera traité l'ensemble des contrôles qui sont prévus à l'arrivée d'un colis. Cela peut être un contrôle simplement administratif des documents ou cela peut être également un contrôle des produits par échantillonnage ou exhaustif.
- La zone de quarantaine : parfaitement définie, et en principe repérée en rouge, cette zone permet d'isoler les lots en attente de décision après un

contrôle n'ayant pas donné satisfaction. Les lots sont alors isolés afin d'éviter qu'il ne se mélange au flux normal de production.

- Le stock de masse : ce stock est généralement un stock de palettes entières. Les palettes sont empilées sur de grandes hauteurs dans des palettiers (étagères spécialement conçues pour palettes).
- Le stock de détail : comme il n'est pas très pratique de préparer les ordres de fabrication (OF) en faisant le tour du stock de masse, on crée parfois un stock de détail qui permet de rassembler dans un périmètre réduit l'ensemble des produits nécessaires à la préparation des commandes. Le stock de détail est alimenté par le stock de masse.
- La zone de préparation : c'est le lieu ou le magasinier/préparateur d'OF prépare les ordres de fabrication générés par le système de gestion de production.

Flux sortant

- Le stock des produits finis rassemble l'ensemble des produits finis de l'entreprise en attente de livraison client.
- La zone de consolidation où est rassemblé l'ensemble des éléments présents sur la commande d'un client.
- La zone de conditionnement qui permet de conditionner la commande et d'imprimer l'ensemble des éléments nécessaires aux traitements administratifs de la livraison.
- La zone de contrôle départ qui permet un dernier contrôle qualité et/ou un comptage des produits avant emballage.
- La zone d'attente départ où sont organisées les caisses ou palettes en fonction des destinations pour optimiser le temps de chargement des camions.

7.2. Les principaux systèmes de stockage

Le problème du stockage a toujours été un problème de gain de place. Les constructeurs de systèmes de rangements font preuve d'une grande ingéniosité pour réduire cette place et optimiser le travail des magasiniers.

7.2.1. Le stockage fixe

Le stockage classique par étagère est le plus classique, il permet de stocker sur les deux faces des éléments. Les allées sont de 80 cm minimum si le préparateur se déplace à pied. Elles doivent être de 1,20 à 1,40 m dans le cas de l'utilisation d'un transporteur.



Figure 3.21 – Stockage sur étagère (www.feralp.fr)

7.2.2. Le stockage par étagères mobiles

Le système d'étagères mobiles permet un gain de place au sol considérable. La capacité de stockage est augmentée de 80 à 90% par rapport à une installation fixe, suivant la géométrie du local. Le déplacement des chariots peut être manuel, mécanique ou électrique. La longueur des rayonnages peut atteindre 12 mètres et la charge jusqu'à 8 tonnes. L'inconvénient du système réside dans le fait qu'il faut déplacer chaque fois les étagères pour accéder à un produit. On utilise donc généralement ce type de rangement pour des stockages dont la fréquence d'entrées/sorties est faible (archivage par exemple).



Figure 3.22 – Stockage sur étagères mobiles (www.feralp.fr)

7.2.3. *Le stockage rotatif*



Figure 3.23 – Stockage rotatif (www.hanel.de)

Le stockage rotatif exploite toute la hauteur des locaux – comme un rayonnage vertical – mais la mise à disposition des produits se fait toujours à hauteur d'homme. En plus, il stocke les pièces en optimisant la hauteur sans aucune perte d'espace et procure ainsi une capacité de stockage maximale pour un encombrement au sol minimal. Ce système est particulièrement adapté pour le stockage de petites pièces.

On trouve aussi de plus en plus des tours de stockage. Un système automatisé déplace des plateaux vers le guichet d'entrées/sorties. L'avantage par rapport au stockeur rotatif réside dans la possibilité de mieux gérer les hauteurs d'objets à stocker ainsi que dans la possibilité de stocker les produits dans des emplacements plus ou moins proches du guichet, en fonction de la fréquence d'utilisation de ceux-ci.

7.2.4. *Le stockage dynamique*

Les systèmes de stockage précédents sont appelés des stockages par accumulation. On pose les produits les uns devant les autres si bien que le dernier produit stocké sera le premier sorti. On appelle cela du stockage LIFO, *Last Input First Output* (dernier entré, premier sorti). Cette méthode peut avoir de graves inconvénients, notamment en cas de risques d'obsolescence des produits. Le stockage dynamique permet de corriger cela en permettant un stockage FIFO, *First Input First Output* (premier entré, premier sorti).



Figure 3.24 – Stockage dynamique (www.feralp.fr)

Les avantages du stockage dynamique sont les suivants :

- amélioration et optimisation du travail de préparation des commandes (réduction des déplacements et de la manutention des préparateurs et magasiniers) ;
- augmentation de la capacité de stockage de 20% à 30%, par la suppression d'allées de circulation ;
- zone de prélèvement (par l'avant) distincte de la zone d'approvisionnement (par l'arrière) ;
- visualisation rapide de l'état des stocks ;
- réduction des risques d'accidents par la suppression d'allées et venues ;
- stockage en rotation continuelle.

On peut l'utiliser pour stocker des cartons, des bacs et des palettes.

8. Les bonnes pratiques

8.1. Lutter contre l'inflation des stocks de sécurité

Il y a dans toute entreprise une tendance naturelle, humaine, à l'augmentation des stocks de sécurité. Chaque fois qu'un problème se pose concernant la gestion d'un article (non-qualité, retard d'un fournisseur, panne d'un moyen de production, augmentation brutale de la demande, etc.) et que cela

provoque une rupture de stock, il semble naturel pour le gestionnaire d'augmenter le stock de sécurité de façon à éviter la rupture la prochaine fois ! Au cours du temps, les stocks de sécurité risquent donc d'augmenter régulièrement.

La bonne pratique en la matière, consiste à :

- s'attaquer aux causes du problème plutôt qu'à sa conséquence (la rupture), c'est-à-dire qu'il faut répertorier les causes de ruptures, les trier en fonction de leur fréquence (Pareto) qu'il faut rechercher, et décider des actions à mettre en place de façon à éliminer ces causes ;
- prendre le temps de faire des analyses pour voir si le stock de sécurité n'est pas trop important : à cet effet, il suffit de regarder les niveaux de stocks minimaux dans le passé et de baisser la valeur du stock de sécurité si cela est possible.

8.2. Les domaines d'application des méthodes traditionnelles des stocks

Bien que les restrictions apportées soient importantes, il reste des domaines où la gestion des stocks traditionnelle reste parfaitement adaptée. C'est le cas de l'approvisionnement des consommables comme le matériel de bureau pour une grande entreprise. La demande est indépendante, à peu près constante, les hypothèses sont donc vérifiées.

On peut également utiliser ces méthodes pour gérer des consommations plus industrielles telles que l'outillage, les fluides consommables, ou encore des pièces de très faible valeur.

Aussi, bien que le domaine d'application soit relativement restreint, la gestion des stocks traditionnelle concerne encore de nombreux articles importants pour la compétitivité des entreprises.

On peut noter qu'une entreprise qui n'arriverait pas à réaliser des prévisions de ventes (et qui donc ne pourrait pas utiliser l'approche MRP) sera obligée de gérer ses articles par les méthodes traditionnelles, avec toutes les conséquences en termes de niveau de stock que cela entraînera.

8.3. Gestion partagée des achats (GPA)

Une bonne solution pour simplifier la gestion d'un article est de ne plus le gérer du tout ! La mise en place d'un partenariat avec un fournisseur pour que celui-ci gère les articles qu'il nous fournit est une bonne pratique que

l'on réserve néanmoins à des articles peu stratégiques et de faible valeur c'est-à-dire de la classe C. Cela revient pour l'entreprise à externaliser sa logistique d'approvisionnement. Le fournisseur aura pour responsabilité de décider les périodes et les quantités de réapprovisionnements, de transporter les produits chez le client, de les ranger au point d'utilisation, d'éviter les ruptures chez le client… et tout cela au moindre prix.

Cette délégation s'appelle gestion partagée des achats (GPA ou VMI = *Vendor Management Inventory*).

Dans l'entreprise **iTechMedia** par exemple, on envisage de déléguer la gestion des stocks de vis au fournisseur. À cette fin, le fournisseur aura le droit d'entrer sur le site de production. Il passera chaque semaine et recomplétera lui-même les boîtes de vis manquantes en fonction du niveau de recomplétement qui a été calculé avec un stock de sécurité relativement important. Il facturera les vis consommées chaque mois en fonction de ses propres relevés. L'avantage pour **iTechMedia** sera de ne plus s'occuper de la gestion de cet article mineur, et de ne plus avoir à sa charge le coût du stock de sécurité. L'avantage pour le fournisseur est de fidéliser un client en lui apportant en plus du produit (les vis), un service (la gestion du stock de ces vis).

9. Conclusion

Le stock constitue un « mal nécessaire » pour tout système de gestion industrielle. Il apporte de la souplesse en masquant de nombreux problèmes, mais son coût est élevé. Gérer les stocks est donc un impératif pour maîtriser son niveau au juste nécessaire.

Dans ce chapitre, nous avons développé les méthodes de gestion utilisées lorsqu'il y a indépendance de la demande des différents composants. On détaillera notamment dans le chapitre sur MRP d'autres approches beaucoup plus adaptées pour faire cette gestion lorsqu'il y a dépendance de la demande au sens du principe d'Orlicky que nous détaillerons dans ce chapitre (voir chapitre 5 : Planification détaillée). Cependant, les méthodes traditionnelles sont toujours d'actualité pour la gestion d'un grand nombre de composants.

Nous avons également profité de ce chapitre pour évoquer l'organisation d'une unité de stockage et les grands types de matériels proposés aux industriels pour économiser de l'espace.

Chapitre 4

Prévision de la demande

1. Objectifs et contraintes de la prévision de la demande

L'idéal pour une entreprise est évidemment de produire exactement les produits que ses clients vont acheter mais, sauf dans le cas très spécial où l'entreprise commence à approvisionner et à fabriquer à partir de la réception de la commande du client, c'est impossible. Il faut qu'elle anticipe le mieux possible les futures commandes de ses clients. Ainsi, afin de prendre les décisions relatives à son bon fonctionnement et à sa pérennité, toute entreprise, quelles que soient sa nature et sa typologie commerciale, doit s'appuyer sur un système de prévisions fiables. Selon le type de décisions à prendre, il devra être à long, à moyen ou à court terme.

1.1. Objectif de la prévision de la demande

- Les prévisions à long terme (supérieures à trois ans) ont un rôle au niveau stratégique de l'entreprise : diversification, produits nouveaux, investissement ou désinvestissement en équipements.
- Les prévisions à moyen terme (de l'ordre de six mois à deux ans) permettront de définir et maîtriser les capacités globales de production et d'approvisionnement. Il n'est pas question d'envisager la construction d'une usine mais l'acquisition d'une machine, l'embauche de personnel ou l'approvisionnement d'articles à long délai d'acquisition.
- Les prévisions à court terme (quelques semaines) serviront à l'activité opérationnelle de production : approvisionnement et gestion des stocks, d'une

part, charge des ateliers et ordonnancement, d'autre part, correspondant à des ajustements des activités planifiées. Plus les prévisions concernent le court terme, plus elles sont fiables car elles se réfèrent à un futur proche. Au contraire, les prévisions à plus long terme seront plus incertaines.

Remarquons immédiatement que la notion de court, moyen ou long terme dépend du type d'activité et des produits de l'entreprise, ainsi les durées ne sont-elles citées qu'à titre d'exemple.

L'activité de prévision est le point de départ de la planification. Toute activité de production est fondée sur des commandes fermes et des prévisions de commandes. Le plus souvent, le deuxième point est très majoritaire, surtout lorsque l'on s'éloigne dans l'horizon de planification. L'objectif de ces prévisions est, pour l'entreprise, de définir ce qu'il faudra produire et quand il faudra le produire. Précisons que, dans un environnement instable – comme c'est le cas aujourd'hui –, la prévision est difficile. Toutefois, mieux vaut prévoir, même avec incertitude, que de ne pas le faire !

Pour étayer cette affirmation, il est intéressant de proposer un exemple ; imaginons une entreprise qui réalise un produit (délai D = un mois) dont les quantités vendues dans les derniers mois d'activité ont été les suivantes :

Période	Quantités vendues (Q_i)
Janvier	100
Février	150
Mars	150
Avril	150
Mai	160
Juin	120
Juillet	100
Août	100
Septembre	120
Octobre	150
Novembre	160
Décembre	140

Si l'on cherche à déterminer le stock de sécurité que l'entreprise doit constituer sur ce produit pour assurer un taux de service client de 97,72%, on va se fonder uniquement sur la dispersion observée au niveau des ventes passées pour l'estimer puisque c'est la seule information que l'on possède (on se

reportera au chapitre 3 pour les modalités de calcul d'un stock de sécurité). Dans notre cas, pour un taux de service de 97,72% le facteur *z* est de 2.

Le calcul va être le suivant : Stock de sécurité (SS) = 2 × Écart-type des quantités vendues.

Donc SS = 2 × 23,86 = 47,72

Il faut donc constituer un stock de sécurité de 48 produits pour assurer un taux de service client de 97,72%.

Imaginons maintenant que l'entreprise avait effectué des prévisions sur cette période. Pour réaliser la prédiction des ventes, on a intégré les grandes tendances connues du marché comme un mois de janvier toujours plus ou moins atone et une période creuse en été dans l'exemple que nous avons pris. On possède donc les informations suivantes :

Période	Quantités vendues (Q_i)	Prévisions (P_i)	Erreurs de prév. $E_i = (Q_i - P_i)$
Janvier	100	95	5
Février	150	160	– 10
Mars	150	140	10
Avril	150	150	0
Mai	160	150	10
Juin	120	130	– 10
Juillet	100	110	– 10
Août	100	90	10
Septembre	120	100	20
Octobre	150	150	0
Novembre	160	150	10
Décembre	140	150	– 10

Grâce aux prévisions, on va pouvoir calculer le stock de sécurité, non pas sur les ventes passées ou les prévisions effectuées, mais sur les erreurs de prévisions. Le stock de sécurité ne sera là que pour couvrir les erreurs de prévisions, toujours pour un taux de service client égal à 97,72%.

Dans notre cas, le calcul va être le suivant : Stock de sécurité (SS) = 2 × Écart type des erreurs de prévisions.

Donc SS = 2 × 10,32 soit SS = 20,64 soit environ 21 produits.

On voit bien, dans ce cas particulier, que le fait d'avoir réalisé des prévisions, même si elles ne sont pas complètement fiables, a permis de diviser le stock de sécurité par un peu plus de 2.

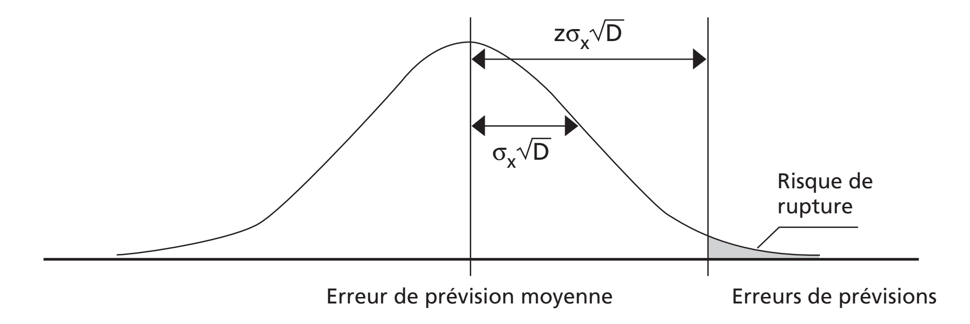


Figure 4.1 – Stock de sécurité et erreurs de prévisions

En effet, dans le premier calcul du stock de sécurité toutes les variations – y compris celles attendues comme la baisse estivale –, contribuent à augmenter l'écart-type. Dans le second calcul, les prévisions permettent au moins d'éliminer la partie des variations prévisibles. Cela contribue forcément à diminuer l'écart-type, et par conséquent à diminuer le stock de sécurité.

1.2. Les éléments du choix

Dans toute approche de prévision, le choix de la méthode exige de se poser tout d'abord la question fondamentale suivante : quel est l'objectif de mes prévisions ? En effet, la méthode choisie dépendra de nombreux facteurs. D'abord, il est indispensable de savoir si les prévisions sont à long terme pour définir les choix stratégiques de l'entreprise ou si nous nous plaçons à moyen et à court terme pour gérer les domaines opérationnels, car plus rapprochés dans le temps. Après quelques notions générales sur les prévisions, nous dirons ensuite quelques mots sur des méthodes utiles pour le long terme, puis nous examinerons plus en détail des méthodes concernant la prévision de la demande à moyen et à court terme.

Outre la question fondamentale citée ci-dessus, les éléments permettant de choisir une méthode de prévision dépendent de nombreux facteurs dont les principaux sont :

- les données historiques disponibles à propos du produit ou de la famille de produits considérée ;
- la précision souhaitée sur les prévisions ;
- le coût accepté pour établir les prévisions ;
- le temps disponible pour les obtenir.

Une prévision est par nature imprécise. Toutefois, par compensation, une prévision agrégée est plus sûre. Ainsi, une prévision portant sur des périodes plus longues (mois par exemple), sera plus précise que celle qui portera sur des périodes courtes (semaines), et un regroupement de produits (famille) donnera une prévision plus précise que par produit individuel. Dans l'entreprise **iTechMedia** par exemple, il est plus facile d'évaluer le nombre de baladeurs multimédias qui seront commandés par les clients au mois de mai que d'évaluer séparément les commandes des baladeurs PF120Go, PF250Go et PF500Go pour chaque semaine du mois de mai. La prévision devra être d'autant plus agrégée qu'elle est à plus long terme.

1.3. Les sources de données

Les sources de données correspondent aux deux familles de méthodes de prévisions :

- celles fondées sur des données relevées dans le passé, que l'on modélise pour faire une projection dans le futur ;
- celles purement prédictives, faites par des experts interrogés ou résultant d'interviews de clients dans le cadre des études de marché.

La source privilégiée de données est un historique de données concernant un produit. Cette base permet d'effectuer une prévision si, évidemment, on estime qu'il existe un lien entre l'évolution de la demande passée (données enregistrées) et celle de la demande à prévoir.

Les autres sources de données sont constituées par les études de marché, les avis d'experts, le suivi des commerciaux, les enquêtes auprès des clients… Mais ces données sont plus délicates à manipuler et à interpréter ; en revanche, elles constituent un complément sûr à un historique. De plus, dans le cas d'historique inexistant, c'est la seule source utilisable.

1.4. Typologie de la demande

Schématiquement, les graphiques de la figure 4.2 définissent les caractéristiques de la demande :

- demande constante (A) si elle oscille statistiquement autour d'une valeur moyenne constante dans le temps, la moyenne de $D = f(t)$ est une droite horizontale ;
- demande à tendance (B) s'il y a oscillation autour d'une valeur croissante ou décroissante dans le temps, $D = f(t)$ est une droite à pente positive ou négative ;

- demande saisonnière (C) si elle présente des variations nettement plus importantes, en hausse et en baisse, d'une manière périodique. Il peut s'agir d'un pic de la demande en hiver (lié à la neige par exemple) ou en été (vacances), mais il peut aussi s'agir de variations saisonnières plus subtiles (petit outillage électrique avec pics à la fête des pères et à Noël) ;
- demande saisonnière et à tendance (D) si les pics et les creux sont disposés autour d'une droite non horizontale ;
- demande erratique (non représentée sur la figure 4.2) si les valeurs sont totalement aléatoires dans le temps.

Notons que pour détecter des variations saisonnières il faut au moins deux à trois ans d'historique.

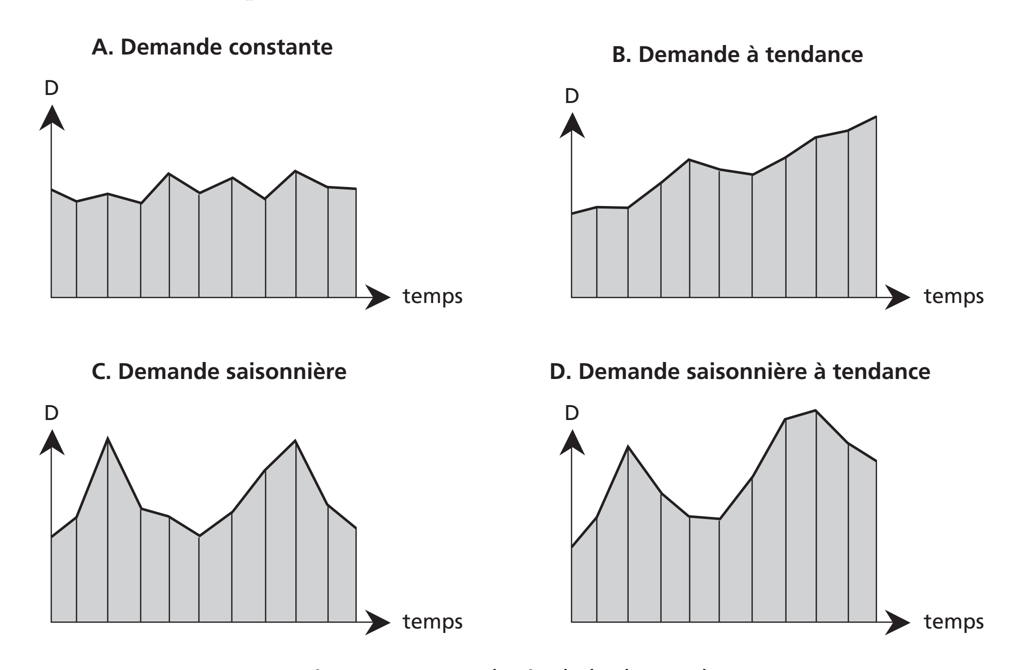


Figure 4.2 – Typologie de la demande

2. Les méthodes de prévision

2.1. Généralités sur les méthodes de prévision

On distingue deux grands types de méthodes de prévision, les méthodes qualitatives et les méthodes quantitatives :

- les techniques qualitatives font appel à une méthodologie non mathématique (mais elles peuvent impliquer des valeurs numériques) ;

- les techniques quantitatives, au contraire, seront fondées sur des modèles mathématiques. De plus, ces techniques sont dites intrinsèques si les données manipulées sont celles du produit considéré. Elles sont extrinsèques s'il s'agit de données appartenant à des événements liés à l'article, mais ne concernant pas l'article lui-même.

2.2. Les méthodes qualitatives

Les méthodes qualitatives sont principalement utilisées pour la prévision à moyen ou à long terme. Elles sont, avant tout, destinées à des décisions de mercatique, avec des données provenant d'études de marché ou d'intentions d'achats, à travers notamment l'interrogation et le traitement de prévisions du réseau de distribution. Il s'agit de techniques excellentes dans ce domaine. Pour les utiliser à des fins de planification, il faudra être prudent et ne les utiliser qu'en complément d'autres informations.

La méthode de Delphes consiste à interroger, indépendamment les uns des autres afin d'éviter toute influence forte directe, des experts à propos d'une question. Le coordinateur remet l'ensemble des réponses aux experts qui peuvent modifier et compléter leur proposition. Après deux ou trois cycles de ce type, on parvient à une proposition de consensus efficace ou, éventuellement, à des divergences argumentées. Cette technique n'est pas adaptée à une prévision à court terme d'un article mais, au contraire, à une décision de stratégie à long terme.

Lorsqu'on doit prévoir la demande d'un nouveau produit, les données historiques n'existent pas. On peut alors utiliser les données existantes d'un produit analogue. Il faut évidemment considérer un produit au comportement suffisamment proche de celui connu.

Nous ajouterons l'estimation du manager fondée sur son intuition à partir de nombreux faits, souvent peu formalisés, qui constituent son savoir-faire et sa connaissance du domaine. Ce jugement subjectif ne peut pas remplacer une technique mathématique sur de bonnes données ; en revanche, il peut rendre d'excellents services si les seules données sont de piètre qualité.

2.3. Les méthodes quantitatives

2.3.1. Représentation graphique

C'est un préalable simple et explicite aux autres méthodes. La représentation graphique présente l'énorme avantage d'être très visuelle car, d'un coup d'œil, elle permet de résumer la prévision et de mettre le bon sens en éveil.

De plus, par extrapolation de la courbe des consommations passées, on peut obtenir une estimation de la demande à venir.

La figure 4.3 donne un relevé de la demande (nombre de produits vendus) pour 2 produits A et B avec un historique de deux ans.

Année	Période	N° période	Demande A	Demande B
2009	Janvier	1	20000	10000
2009	Février	2	21000	11000
2009	Mars	3	19000	10500
2009	Avril	4	22000	11000
2009	Mai	5	23000	12000
2009	Juin	6	22000	12500
2009	Juillet	7	20000	13000
2009	Août	8	16000	14000
2009	Septembre	9	20000	14500
2009	Octobre	10	24000	15000
2009	Novembre	11	25000	15500
2009	Décembre	12	27000	15500
2010	Janvier	13	23000	16500
2010	Février	14	22000	16000
2010	Mars	15	22000	17000
2010	Avril	16	25000	17500
2010	Mai	17	24000	18000
2010	Juin	18	25000	20000
2010	Juillet	19	23000	19500
2010	Août	20	19000	19500
2010	Septembre	21	23000	20000
2010	Octobre	22	25000	21000
2010	Novembre	23	24000	21500
2010	Décembre	24	30000	23000

Figure 4.3 – Relevé des valeurs de la demande pour A et B sur deux ans

Deux types de graphiques peuvent être tracés :

En prolongation

Représentation en prolongation de plusieurs années d'historique pour détecter d'éventuelles tendances. Cette représentation permet de voir que la demande du produit B augmente régulièrement.



Figure 4.4 – Représentation graphique de l'historique de la demande

En superposition

Représentation en superposition sur un an d'abscisse de plusieurs années d'historique. Cette représentation permet de constater ou non des phénomènes de saisonnalité. C'est le cas ici du produit A, pour lequel on remarque un certain parallélisme des courbes de ventes.

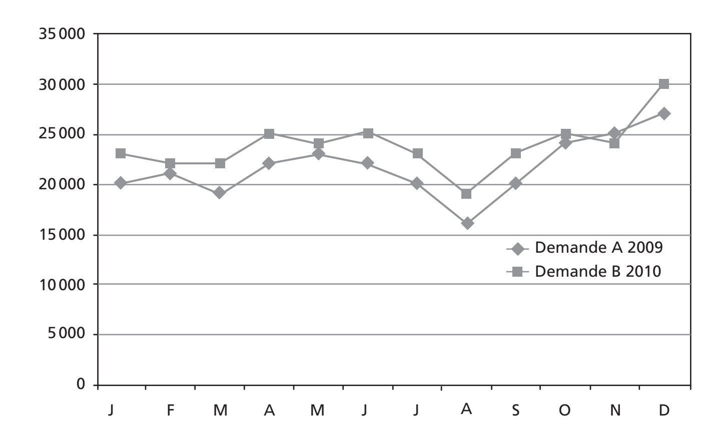


Figure 4.5 – Représentation graphique de l'historique de la demande

2.3.1. Méthode de la régression linéaire

Cette méthode permet de prolonger dans le futur une série de valeurs du passé qui suivent une tendance en utilisant la méthode des moindres carrés. Nous allons nous intéresser ici au cas du produit B, pour lequel nous voudrions faire des prévisions pour l'année 2011. Nous allons numéroter et appeler xi les périodes de l'historique (des mois ici), et appeler yi les ventes correspondantes à ces périodes. Soit *n* le nombre de périodes (*n* = 24 ici).

Nous allons rechercher l'équation de la droite qui passe au mieux dans le nuage des points constitué par l'historique. On appelle cette droite la droite de tendance. Elle a pour équation y = a . x + b

$$\text{avec} \quad a = \frac{n.\sum_{i=1}^{n} xi.yi - \sum_{i=1}^{n} xi.\sum_{i=1}^{n} yi}{n.\sum_{i=1}^{n} xi^2 - (\sum_{i=1}^{n} xi)^2} \quad \text{ce qui se note aussi} \quad a = \frac{\overline{x.y} - \overline{x}.\overline{y}}{\overline{x^2} - \overline{x}^2}$$

$$\text{et} \quad b = \frac{\sum_{i=1}^{n} yi}{n} - a\frac{\sum_{i=1}^{n} xi}{n} \quad \text{ce qui se note aussi} \quad b = \overline{y} - a.\overline{x}$$

Remarque : sur Excel, les formules sont les suivantes :

- a = DROITEREG(Y1:Yn ; X1:Xn)
- b = ORDONNEE.ORIGINE(Y1:Yn ; X1:Xn)

Dans l'exemple du produit B, on trouve :

- a = 531,3043478
- b = 9358,695652

Pour réaliser les prévisions pour l'année 2011 avec cette méthode, il suffit d'appliquer l'équation de la droite de tendance avec des valeurs de *x* qui varient de 25 (janvier 2011) à 36 (décembre 2011).

Le coefficient R^2 de 0,9852 signifie que 98,52% de la variance (carré de l'écart-type) de la demande peut être expliquée par l'équation de la droite. Le 1,48% restant doit être expliqué par d'autres éléments (caractère aléatoire par exemple).

Attention, ce n'est pas parce que les ventes ont augmenté régulièrement pendant deux ans que cela va forcément continuer dans le futur : seule la connaissance du marché qu'ont les commerciaux peut valider ou invalider ces prévisions.

Voici le résultat :

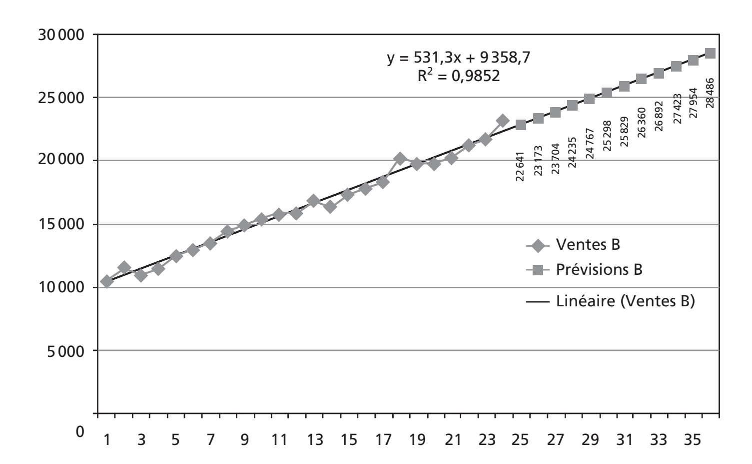


Figure 4.6 – Représentation graphique de l'historique de la demande et des prévisions de ventes

2.3.2. Méthode de décomposition

Le principe de cette méthode consiste à rechercher :

- une tendance donnant l'évolution à moyen terme de la demande ;
- des variations saisonnières S dues à des modifications périodiques de la demande, liées à la nature du produit et à son utilisation ;
- des éléments résiduels R dus à de nombreuses causes autres que les précédentes (modification climatique inattendue, épidémie, grève, apparition d'un nouveau client sur le marché, mode…).

La demande pour une période *i* peut alors s'exprimer sous deux formes :

- une forme additive de ces différents éléments où $D_i = T_i + S_i + R_i$;
- une forme multiplicative de ces éléments avec $D_i = T_i \,.\, S_i \,.\, R_i$.

Nous avons choisi de développer ici la forme multiplicative qui est la plus fréquente, et nous ne prendrons pas en compte les éléments résiduels qui ne se renouvellent pas.

Estimation de la tendance T

La tendance peut être recherchée avec la méthode des moindres carrés décrite précédemment. Nous allons nous intéresser ici au cas du produit A, pour lequel nous voudrions faire des prévisions pour l'année 2011.

La droite de tendance, facilement calculable à partir d'un tableur, est représentée sur la figure 4.7 en comparaison des valeurs historiques précédentes. On pourra donc représenter l'évolution de la tendance par l'équation :

y = 224,35x + 19862, avec un R^2 qui vaut 0,2933 seulement, car il y a de grosses variations de la demande autour de la droite de tendance.

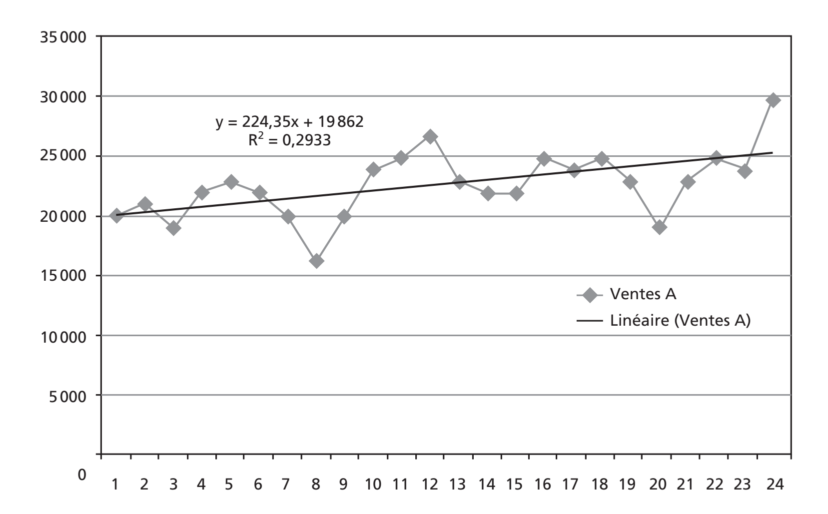


Figure 4.7 – Droite de tendance et données historiques

Remarquons que des données historiques tronquées peuvent conduire à une droite de tendance mathématiquement correcte, mais ne représentant pas une évolution de la demande réelle (notamment lorsqu'il y a des variations saisonnières). Pour éviter cela, il faut disposer de suffisamment de données dans le temps (deux ou trois ans). De plus, la représentation graphique mettra le bon sens en alerte !

Par ailleurs, on peut remplacer la droite de régression par une courbe plus élaborée établie au sens des moindres carrés des écarts. Les logiciels de prévisions de ventes peuvent proposer la formulation mathématique la plus proche possible de la courbe (régression logarithmique, exponentielle, etc.).

Estimation des variations saisonnières

Il faut tout d'abord déterminer les saisons. À cette fin, il faut considérer deux mois consécutifs (M1 et M2) : si, sur l'historique, les ventes de M1 sont toujours inférieures ou toujours supérieures aux ventes de M2, alors M1 et M2 ne sont pas dans la même saison. Dans le cas contraire, M1 et M2 pourront être mis dans la même saison. Les saisons sont donc constituées de mois qui

se ressemblent en termes de ventes. Dans le cas de notre produit A cela donne 7 saisons. On peut donc calculer pour chaque saison de chaque année le total de la demande, et donc la demande mensuelle moyenne par saison.

Année 2009	J F M	A M J	J	A	S	O N	D
Demande totale	60000	67000	20000	16000	20000	52000	27000
Moyenne	20000	22333	20000	16000	20000	26000	27000

Année 2010	J F M	A M J	J	A	S	O N	D
Demande totale	67000	74000	23000	19000	23000	49000	30000
Moyenne	22333	24667	23000	19000	23000	24500	30000

Les variations saisonnières sont traduites par des coefficients saisonniers représentant les écarts de la demande moyenne de la saison à la valeur de la tendance au mois central de la saison (celle-ci étant déterminée grâce à l'équation y = a.x + b).

Pour le premier trimestre de l'année 2009, le mois central est février donc le mois numéro 2. La valeur de la tendance au mois de février 2009 vaut donc 224,35 × 2 + 19862 = 20311,01. Cela donne un coefficient saisonnier de 20000/20311,01 = 98,5%.

Pour le premier trimestre de l'année 2010, le mois central est février donc le mois numéro 14. La valeur de la tendance au mois de février 2010 vaut donc 224,35 × 14 + 19862 = 23003,2. Cela donne un coefficient saisonnier de 22333/23003,2 = 97,1%.

Pour déterminer le coefficient saisonnier de la première saison qu'il faudra appliquer pour le futur, il reste à faire la moyenne des 2 coefficients saisonniers : (98,5% + 97,1%)/2 = 97,8%.

La figure 4.8 indique le calcul des indices de saisonnalité pour les 7 saisons.

Année 2009	J F M	A M J	J	A	S	O N	D
Demande totale	60000	67000	20000	16000	20000	52000	27000
Moyenne	20000	22333	20000	16000	20000	26000	27000
Mois central	2	5	7	8	9	10,5	12
Valeur tendance	20311,0	20984,1	21432,8	21657,1	21881,4	22218,0	22554,5
Coefficient	98,5 %	106,4 %	93,3 %	73,9 %	91,4 %	117,0 %	119,7 %

Année 2010	J F M	A M J	J	A	S	O N	D
Demande totale	67000	74000	23000	19000	23000	49000	30000
Moyenne	22333	24667	23000	19000	23000	24500	30000
Mois central	14	17	19	20	21	22,5	24
Valeur tendance	23003,2	23676,2	24124,9	24349,3	24573,6	24910,1	25246,7
Coefficient	97,1 %	104,2 %	95,3 %	78,0 %	93,6 %	98,4 %	118,8 %

Pour le futur	J F M	A M J	J	A	S	O N	D
Coefficient	97,8 %	105,3 %	94,3 %	76,0 %	92,5 %	107,7 %	119,3 %

Figure 4.8 – Calcul des coefficients de saisonnalité

Remarque : si le coefficient saisonnier calculé est supérieur à 100%, cela signifie qu'on est face à une période de ventes importantes. Si le coefficient saisonnier calculé est inférieur à 100%, on est face à une période de ventes faibles.

Calcul des prévisions pour l'année 2011

Pour établir les prévisions des mois de l'année 2011, il suffit de calculer la valeur qui se trouve sur la droite de tendance puis de multiplier cette valeur par le coefficient saisonnier correspondant. Pour le mois de janvier 2011 (mois n° 25) la droite de tendance donne $224{,}35 \times 25 + 19862 = 25471{,}014$. Comme le coefficient de la première saison (J F M) est de 97,8% cela donne une prévision de $25471{,}014 \times 97{,}8\% = 24905{,}142$ soit en arrondissant au supérieur 24906.

Périodes	N°	Tendances	Coefficients	Prévisions
Janvier	25	25471,0	97,8 %	24906
Février	26	25695,4	97,8 %	25125
Mars	27	25919,7	97,8 %	25344
Avril	28	26144,1	105,3 %	27532
Mai	29	26368,4	105,3 %	27768
Juin	30	26592,8	105,3 %	28004
Juillet	31	26817,1	94,3 %	25296
Août	32	27041,4	76,0 %	20540

Périodes	N°	Tendances	Coefficients	Prévisions
Septembre	33	27265,8	92,5 %	25221
Octobre	34	27490,1	107,7 %	29604
Novembre	35	27714,5	107,7 %	29846
Décembre	36	27938,8	119,3 %	33323

Figure 4.9 – Résultat des prévisions

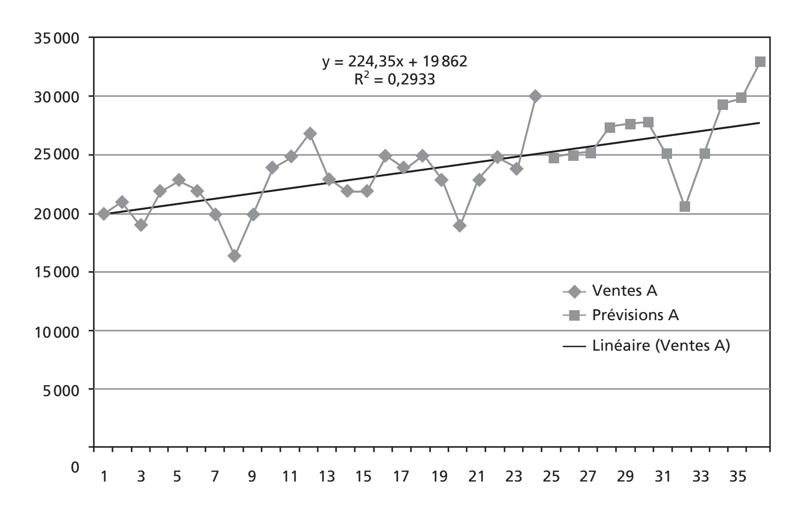


Figure 4.10 – Représentation graphique

Cette méthode implique un stockage de données et de nombreux calculs, mais elle est simple à utiliser avec l'aide d'un ordinateur et peu coûteuse. Les prévisions seront correctes si la tendance est régulière et la saisonnalité reproductible.

2.3.3. Méthode des moyennes mobiles

Cette méthode a deux utilisations :

- elle permet d'établir une prévision de la demande ;
- elle sert également à lisser des données utilisées avec d'autres méthodes de prévision.

On estime la prévision de la demande pour une certaine période à partir des valeurs connues pour les quelques périodes précédentes. Prenons le cas d'une moyenne mobile à trois périodes, pour faire les prévisions de ventes du produit C ci-dessous pour l'année 2011.

Année	Période	Demande C
2010	Juillet	3000
2010	Août	3100
2010	Septembre	2950
2010	Octobre	3000
2010	Novembre	3050
2010	Décembre	2900

Figure 4.11 – Relevé des valeurs de la demande pour C sur les six derniers mois

Dans ce cas, la prévision de la demande de janvier 2011 sera calculée à partir des valeurs de la demande des mois d'octobre, novembre et décembre 2010.

Prév janv 2011 = (Demande oct 2010 + Demande nov 2010 + Demande déc 2010)/3 = (3000 + 3050 + 2900)/3 = 2983,33 soit 2984.

Pour le mois de février 2011, il ne sera pas possible de prendre en compte les ventes de janvier 2010 car elles ne sont pas encore connues, donc il faudra prendre les prévisions de janvier 2011.

Prév fév 2011 = (Demande nov 2010 + Demande déc 2010 + Prév janv 2011)/3 = (3050 + 2900 + 2984)/3 = 2978.

La courbe ci-dessous donne le résultat pour l'année 2011. On remarquera que cette méthode de prévision conduit à des prévisions stables et ne doit donc être appliquée que si l'on suppose que les ventes futures seront stables ou vont se stabiliser.

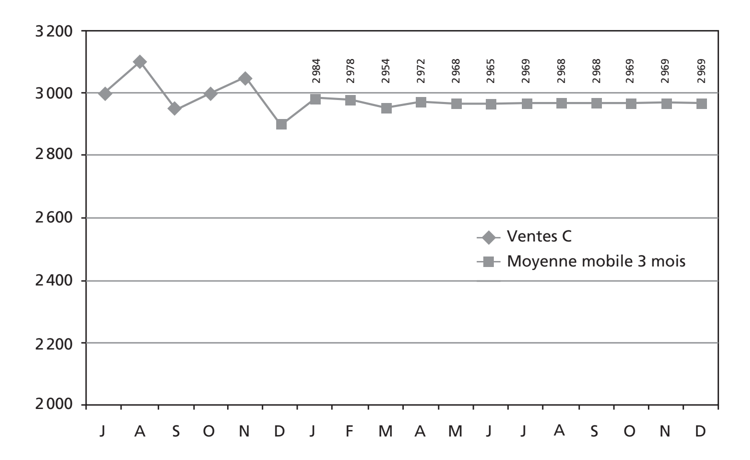


Figure 4.12 – Prévisions par la méthode des moyennes mobiles

La méthode des moyennes mobiles implique un stockage important de données et un certain nombre de calculs, mais elle est simple à mettre en œuvre sur un ordinateur et elle est peu coûteuse. Son inconvénient est de « traîner » derrière l'évolution de la consommation passée, puisqu'à tout instant on ne prend en compte que des moyennes de valeurs antérieures.

Moyenne mobile pondérée

Lors d'une prévision, on peut affecter des poids différents aux données afin de favoriser les plus récentes, au lieu de mettre sur le même plan les diverses valeurs.

Par exemple :

Prév janv 2011 = (2 × Demande oct 2010 + 3 × Demande nov 2010 + 4 × Demande déc 2010)/ (2 + 3 + 4) = (2 × Demande oct 2010 + 3 × Demande nov 2010 + 4 × Demande déc 2010)/9

donne une importance double (4/2) à la donnée D_{n-1} vis-à-vis de D_{n-3} et une fois et demie (3/2) à la donnée D_{n-2}.

Autre utilisation de la moyenne mobile

Comme annoncé en tête du paragraphe, on peut également, à l'aide de la moyenne mobile, effectuer un lissage de données destinées à d'autres méthodes. On évite ainsi d'introduire des points anormaux qui risqueraient de perturber les estimations de la demande. On remplace, par exemple D_5 par D'_5 :

$D'_5 = (D_4 + D_5 + D_6)/ 3$

et de même pour D'_6, D'_7…

Le nombre de périodes impliquées (ci-dessus trois) conduit, évidemment, à un lissage plus ou moins important des données.

2.3.4. Méthode des moyennes échelonnées

C'est une méthode de prévisions très simple qui consiste à faire la moyenne des ventes d'un même mois de plusieurs années différentes. Si l'on reprend le produit A précédent :

Périodes	Ventes 2009	Ventes 2010	Prévisions 2011
Janvier	20000	23000	21500
Février	21000	22000	21500
Mars	19000	22000	20500

Périodes	Ventes 2009	Ventes 2010	Prévisions 2011
Avril	22000	25000	23500
Mai	23000	24000	23500
Juin	22000	25000	23500
Juillet	20000	23000	21500
Août	16000	19000	17500
Septembre	20000	23000	21500
Octobre	24000	25000	24500
Novembre	25000	24000	24500
Décembre	27000	30000	28500

Figure 4.13 – Prévisions par la méthode des moyennes échelonnées

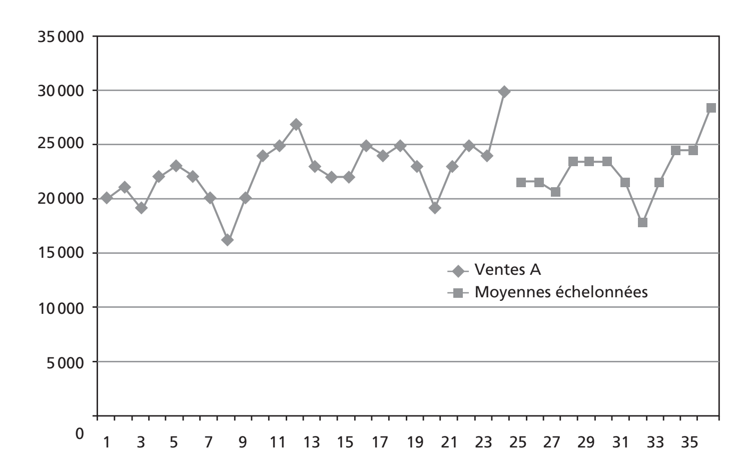


Figure 4.14 – Prévisions par la méthode des moyennes échelonnées

On remarquera que les prévisions trouvées avec cette méthode ne prolongent pas la tendance à la hausse qui est visible sur les deux années d'historique (voir méthode de la décomposition). Il faudra réserver cette méthode à des ventes saisonnières, mais régulières d'une année sur l'autre.

2.3.5. Méthodes de lissage exponentiel

Lissage exponentiel simple

Cette méthode est probablement la plus connue pour la prévision de la demande des articles. La prévision pour la période n est celle de la période n-1

corrigée proportionnellement à l'écart $D_{n-1} - P_{n-1}$ entre la demande réelle et la prévision qui avait été faite pour la période précédente :

$P_n = P_{n-1} + \alpha (D_{n-1} - P_{n-1})$

où α est un coefficient compris entre 0 et 1.

Si $\alpha = 0$, on considère que la prévision de n est la même que celle de n-1. Au contraire, si $\alpha = 1$, on prend comme prévision de la période n, la demande réelle de la période n-1, en effet :

$P_n = P_{n-1} + D_{n-1} - P_{n-1} = D_{n-1}$

Une valeur de α se rapprochant de 1 conduit donc à favoriser les demandes réelles récentes, ceci sera illustré dans le tableau 4.15.

On peut montrer aisément que cette méthode implique les demandes réelles passées :

$$P_n = P_{n-1} + \alpha(D_{n-1} - P_{n-1}) = \alpha D_{n-1} + (1 - \alpha)P_{n-1}$$
$$\text{or } P_{n-1} = P_{n-2} + \alpha(D_{n-2} - P_{n-2}) = \alpha D_{n-2} + (1 - \alpha)P_{n-2}$$
$$\text{donc } P_n = \alpha D_{n-1} + \alpha(1 - \alpha)D_{n-2} + (1 - \alpha)^2 P_{n-2}$$

de proche en proche on arrive à :

$$P_n = \alpha D_{n-1} + \alpha(1 - \alpha)D_{n-2} + \alpha(1 - \alpha)^2 D_{n-3} + \ldots$$

La méthode du lissage exponentiel effectue donc une moyenne mobile pondérée où les coefficients affectés aux données passées sont reliés par une loi de décroissance exponentielle. En pratique, la relation entre le coefficient α et une moyenne mobile à N périodes est approximativement donnée par $\alpha = 2/(N + 1)$.

Le tableau ci-dessous et la figure 4.15 rappellent les poids successifs attribués aux données et fournit ces poids pour trois valeurs caractéristiques du coefficient α.

Période	**n**	**n-1**	**n-2**	**n-3**	**n-4**
Poids	α	$\alpha(1 - \alpha)$	$\alpha(1 - \alpha)^2$	$\alpha(1 - \alpha)^3$	$\alpha(1 - \alpha)^4$
$\alpha = 0,9$	0,9	0,09	0,009	0,0009	0,00009
$\alpha = 0,3$	0,3	0,21	0,147	0,1029	0,07203
$\alpha = 0,1$	0,1	0,09	0,081	0,0729	0,06561

Figure 4.15 – Décroissance des poids pour différentes valeurs de α

Le coefficient α est défini empiriquement ou d'une manière plus scientifique par la méthode des moindres carrés. Sa valeur permet de régler la sensibilité du système.

La grosse limite de cette méthode est qu'elle ne permet de faire une prévision que pour la période suivante, donc une prévision à très court terme ou alors très globale.

Lissages exponentiels multiples

La méthode du lissage exponentiel peut être employée avec deux coefficients α et β si la demande est à tendance (lissage exponentiel double). Nous appellerons tendance instantanée la variation de prévision d'une période à la suivante :

$$t_n = P_n - P_{n-1}$$

On effectue alors un lissage exponentiel de la tendance :

$$T_n = \beta . t_n + (1 - \beta) . T_{n-1}$$

Nous n'entrerons pas plus dans le détail du lissage exponentiel double et nous demanderons au lecteur d'admettre que la prévision corrigée s'exprime par :

$$P_n^1 = P_n + \frac{1 + \alpha}{2\alpha} T_n$$

Il est également possible d'effectuer un lissage exponentiel des coefficients saisonniers en introduisant un coefficient γ. Le lissage exponentiel comporte alors trois coefficients α, β et γ. Il est appelé lissage exponentiel triple.

Là encore, les modèles employés sont faciles à mettre en œuvre sur ordinateur et peu coûteux. Ils nécessitent, comme les précédents, des données historiques suffisamment étoffées.

2.3.6. Autres modèles mathématiques

De nombreux autres modèles mathématiques plus complexes sont utilisés pour réaliser des prévisions de la demande. Certains modèles recherchent des corrélations entre données à divers intervalles fixés ou cherchent des corrélations entre facteurs. On peut, par exemple, chercher à lier la demande de produits à celle de secteurs économiques associés par des régressions simples ou multiples. On définit ainsi des modèles économétriques fondés sur des expressions analytiques. Ces traitements plus complexes débordent de l'esprit de cet ouvrage.

3. Erreur et incertitude sur les prévisions

Une prévision est par nature incertaine. Il ne faut pas confondre incertitude et erreur. Il peut naturellement y avoir erreur… si on se trompe en prenant des données inexactes, en calculant ou en utilisant mal les méthodes !

Nous pouvons évaluer la qualité des prévisions par deux valeurs complémentaires : l'erreur moyenne e et l'écart moyen absolu MAD.

L'erreur moyenne est définie par $e = \frac{\sum (D_i - P_i)}{n}$

Cet indicateur signale la présence ou l'apparition d'un biais systématique : prévision en moyenne trop forte ou trop faible. On peut donc apprécier le centrage statistique du modèle : un modèle correct avec variations aléatoires donnera une valeur nulle de e.

Puisque des termes de signes contraires, même importants, peuvent se compenser au moins partiellement pour donner une valeur de e qui semble acceptable, on définit l'écart moyen absolu (que nous noterons MAD = *Mean Absolute Deviation*, en anglais) :

$$MAD = \frac{\sum |D_i - P_i|}{n}$$

qui évite ces compensations et contrôle l'écart entre demande réelle et prévision. Le tableau 4.16 illustre le calcul de l'erreur moyenne et de la MAD sur un nombre réduit de données.

D_i	P_i	$D_i - P_i$	$\lvert D_i - P_i \rvert$
150	153	– 3	3
146	155	– 9	9
156	147	9	9
152	145	7	7
145	155	– 10	10
146	154	– 8	8
153	148	5	5
157	146	11	11
	Σ	2	62

Figure 4.16 – Erreur moyenne et MAD

d'où e = 2/8 = 0,25 et MAD = 62/8 = 7,75

Remarque : MAD et écart-type

La MAD est simple à calculer. Elle est souvent utilisée à la place de l'écart-type. Il faut connaître la correspondance approximative facile à retenir $3.\sigma = 4.MAD$ (ce qui correspond à un filtre à 99,7% pour une loi normale, c'est-à-dire où le risque d'accepter une valeur à rejeter est inférieur à 0,3%). On pourra utiliser cette grandeur pour évaluer les stocks de sécurité permettant de couvrir l'incertitude de la prévision.

MAD lissée

On préfère parfois calculer la MAD lissée (lissage exponentiel) :

$$MAD_i = b \times \lvert D_i - P_i \rvert - (1 - b) \times MAD_{i-1}$$

On choisit un coefficient b petit (par exemple 0,1), ce qui assure un lissage à long terme de la MAD.

Avec les données précédentes, on obtient :

D_i	P_i	$\lvert D_i - P_i \rvert$	n	$(\sum \lvert D_i - P_i \rvert)/n$	MAD_i
150	153	3	1	3,00	0,30
146	155	9	2	6,00	1,17
156	147	9	3	7,00	1,95
152	145	7	4	7,00	2,46
145	155	10	5	7,60	3,21
146	154	8	6	7,67	3,69
153	148	5	7	7,29	3,82
157	146	11	8	7,75	4,54

Figure 4.17 – MAD lissée

Qualité du modèle de prévision

L'observation simultanée de *e* et MAD permet d'avoir une bonne idée de la qualité du modèle de prévision. Dans un système de prévision pour de nombreux articles et afin de le maîtriser, il faut mettre en place des fourchettes pour ces indicateurs. Le suivi de ces indicateurs et de leur comportement nous alertera d'une quelconque modification, et nous permettra de réagir.

Un autre indicateur utilisé pour prévenir d'un processus de prévision devenant hors contrôle, est le signal d'alerte suivant :

$$A_i = \frac{\sum (D_i - P_i)}{MAD_i}$$

Cette valeur peut naturellement être positive ou négative, mais doit rester dans des limites raisonnables et non biaisées (systématiquement négative ou positive). D'une manière analogue à un contrôle statistique de la qualité où l'on souhaite une valeur dans une fourchette de plus ou moins 3 écarts-types, si le signal d'alerte A_i dépasse 4 en valeur absolue (car $3.\sigma \approx 4.MAD$), on soupçonnera un changement dans la demande. Il nous restera à en rechercher les causes et à modifier le modèle. Le tableau 4.18 illustre le calcul de A_i sur les quelques données précédentes. On remarquera les valeurs très élevées de A_i en tête du tableau. Ceci est tout à fait normal car les écarts étaient initialement supposés nuls… ce qui correspond bien à une modification du modèle !

D_i	P_i	$D_i - P_i$	$\sum(D_i - P_i)$	A_i
150	153	– 3	– 3	– 10,0
146	155	– 9	– 12	– 10,2
156	147	9	– 3	– 1,5
152	145	7	4	1,6
145	155	– 10	– 6	– 1,9
146	154	– 8	– 14	– 3,8
153	148	5	– 9	– 2,4
157	146	11	2	0,4

Figure 4.18 – Calcul du signal d'alerte A_i

4. Les bonnes pratiques

4.1. Logiciels de prévisions de ventes

Même si l'on peut utiliser un tableur pour faire des prévisions, il existe des logiciels spécialisés, intégrés ou non aux ERP, qui permettent de gérer les historiques de ventes et les prévisions. Ces logiciels permettent d'utiliser plusieurs méthodes calculatoires différentes et, dans certains cas, proposent même de préconiser la méthode qui donne le meilleur résultat. Le principe consiste à appliquer différentes méthodes sur les données historiques sans prendre le dernier mois, et à regarder quelle méthode donne le meilleur résultat pour le dernier mois de l'historique.

4.2. Participation des commerciaux

Il est tout à fait naturel, voire indispensable, que les commerciaux participent à l'élaboration des prévisions des ventes car ce sont les spécialistes des ventes dans l'entreprise. Ils sont au courant des tendances du marché. Ils connaissent bien les produits des concurrents car ils sont sur les salons professionnels. Ils connaissent bien aussi les potentialités de leur marché.

Il faut donc mettre en place dans l'entreprise un système de remontée et de consolidation des prévisions provenant des commerciaux. Si certains commerciaux ont tendance, dans le doute, à surestimer les prévisions qu'ils transmettent, alors il faudra calculer sur la base d'un historique le coefficient réducteur à appliquer.

On comprendra que faire des prévisions utiles (c'est-à-dire pas trop fausses) n'est pas si facile que cela : il faut utiliser des logiciels spécifiques et mobiliser l'ensemble du réseau commercial. Sans cet effort, la qualité des prévisions ne sera pas bonne et l'utilisation de celles-ci pour la planification demandera des stocks de sécurité très importants !

5. Conclusion

Il n'était pas question dans cet ouvrage de réaliser un panorama exhaustif des méthodes de prévision mais de donner un aperçu des différents types de méthodes. Les méthodes classiques sont rapides et peu coûteuses. Elles donnent des informations intéressantes à court terme, mais moins fiables dès que l'on s'éloigne dans le temps. Les modèles plus complexes et plus récents sont beaucoup plus coûteux mais donnent, en général, des prévisions valables à plus long terme. Chaque entreprise devra choisir la méthode qui lui convient en fonction de l'objectif fixé ainsi que des critères de données et de coûts décrits en début de chapitre. De plus, il faudra qu'elle vérifie la validité du modèle au moyen d'indicateurs liés aux erreurs de prévisions (voir chapitre 7 : Planification globale).

Tous les modèles de prévision évoqués ont été intégrés à des logiciels. Certains progiciels comportent plusieurs méthodes et proposent même un choix à l'utilisateur s'il le désire. Soulignons toutefois qu'il est indispensable de bien connaître les problèmes de la prévision de la demande, et de ne pas faire une confiance aveugle à un traitement automatique. L'expérience, l'intuition et le bon sens seront des facteurs fondamentaux pour réaliser une bonne prévision et détecter toute anomalie.

En résumé, une bonne prévision est obtenue par des méthodes quantitatives corrigées par des méthodes qualitatives.

Chapitre 5

Planification détaillée

1. INTRODUCTION

1.1. Limites des méthodes traditionnelles de gestion des stocks

Les méthodes traditionnelles de gestion des stocks décrites au chapitre 3 ont toutes les caractéristiques suivantes :

- les articles sont gérés indépendamment les uns des autres ;
- on suppose implicitement que la consommation antérieure de chacun des articles se répétera dans le futur ;
- en supposant que l'on ait effectivement besoin dans le futur de chaque article, on ne se préoccupe pas de la date de ce besoin.

Il en résulte notamment, en cas d'arrêt de la vente d'un produit, une stabilisation du système dans un état où les stocks intermédiaires sont pleins, et inversement en cas d'augmentation brutale des ventes, une certaine inertie de réaction du système avec risque de ruptures. Ce risque de rupture incite les gestionnaires à augmenter les stocks de sécurité, ce qui aggrave le phénomène de sur-stockage lors de la baisse des ventes.

Ces limitations ont conduit à mettre au point à partir de 1965 aux États-Unis, un concept de gestion de la production permettant d'anticiper les besoins exacts avec leur décalage dans le temps à partir des prévisions de vente. Cette méthode a été initialement appelée MRP (*Material Requirements Planning* : calcul des besoins nets). Par la suite, une évolution en plusieurs étapes a permis d'aboutir au concept de MRP2, où les mêmes initiales ont une signification bien

plus globale : *Manufacturing Resource Planning* que l'on a traduit par « Management des Ressources de la Production ». Nous reviendrons par la suite sur cette progression, mais il importe immédiatement de souligner la nécessité, lorsqu'on parle de MRP, de préciser de quel stade il s'agit. Ainsi, bon nombre d'entreprises et de logiciels estiment « faire du MRP » dès qu'il existe un calcul des besoins, alors que maintenant le concept MRP devrait être appliqué uniquement dans le sens global MRP2 !

1.2. Principe d'Orlicky

Une entreprise fabrique et achète des articles selon ses besoins, c'est en tout cas ce qu'elle devrait faire ! Le concept MRP est né de la mise en évidence, par Joseph ORLICKY, de la répartition de ces besoins en deux types fondamentaux : les besoins indépendants et les besoins dépendants :

- les besoins indépendants sont ceux qui proviennent de l'extérieur de l'entreprise, indépendamment de sa volonté propre. Il s'agit typiquement des besoins en produits finis et en pièces de rechange achetées par les clients de l'entreprise ;
- les besoins dépendants, au contraire, sont générés par les précédents. Ils proviennent donc de l'intérieur de l'entreprise elle-même. Il s'agit des besoins en sous-ensembles, composants, matières premières… entrant dans la composition des produits vendus.

Ces deux types de besoin exigent un traitement totalement différent exprimé dans le principe d'Orlicky :

> Les besoins indépendants ne peuvent être qu'estimés par des prévisions. Les besoins dépendants, au contraire, peuvent et doivent être calculés à l'aide des nomenclatures (calcul des besoins).

La figure 5.1 illustre dans le cas de l'entreprise **iTechMedia**, cette notion de besoins indépendants et dépendants.

Les modes de gestion de ces deux types de besoin sont donc totalement différents, puisque dans le premier cas ils reposent sur des méthodes de prévision (voir chapitre 4 : Prévision de la demande) alors que dans le second cas, ils reposent sur la technique du calcul des besoins nets. Ainsi, pour le baladeur **iTechMedia** de la figure 5.1, des prévisions de ventes seront à la base de l'estimation du volume de production nécessaire en baladeurs emballés (produit fini). Quant aux composants, les quantités à fabriquer ou à acheter,

Clients
iTechMedia
Produit fini
Besoins indépendants
PRÉVUS
Calcul des besoins
Besoins dépendants
CALCULÉS

Figure 5.1 – Besoins indépendants et besoins dépendants

nécessaires pour emballer et assembler ces baladeurs, seront calculées en se fondant sur les nomenclatures (voir chapitre 2 : Données techniques).

Il faut, dès à présent, remarquer que certains articles peuvent avoir des besoins à la fois indépendants et dépendants. Ainsi, un article peut entrer dans la composition d'un produit (besoin dépendant) et être également vendu comme pièce de rechange (besoin indépendant).

1.3. Principe général du calcul des besoins

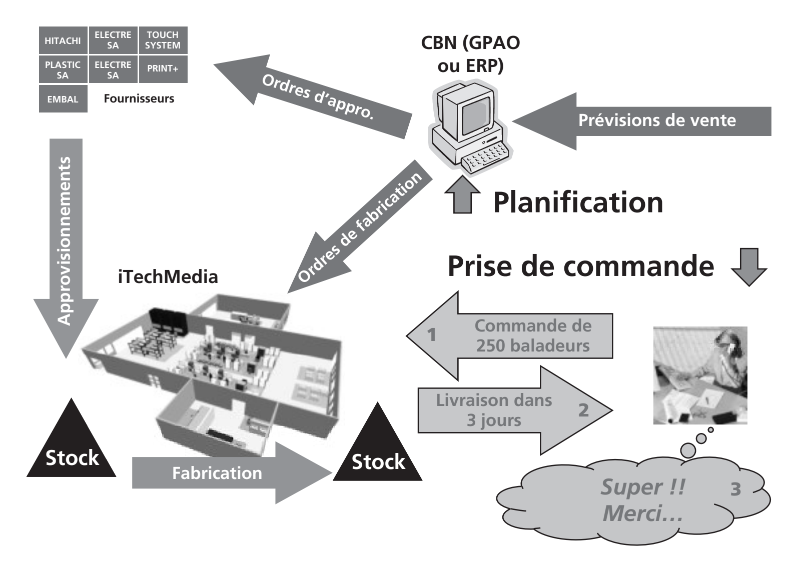


Figure 5.2 – Principe du calcul des besoins

La figure 5.2 montre le principe général de la planification. Un logiciel ou progiciel spécialisé dans la gestion de production (GPAO ou ERP) est utilisé pour mettre en place la méthode MRP (calcul des besoins et autres modules de la méthode MRP2). Celui-ci est alimenté par des prévisions de vente et des données techniques, et lors du calcul des besoins des ordres d'approvisionnement (OA) ainsi que des ordres de fabrication (OF) sont proposés puis lancés par le ou les gestionnaires. Ceci permet d'assembler des baladeurs à l'avance de façon à constituer un stock de produits finis qui permettra, lorsqu'un acheteur commandera, de le livrer rapidement.

On comprendra que, dans ce fonctionnement, les erreurs de prévision, qui sont inéluctables, peuvent engendrer des problèmes de rupture de stock. Pour se couvrir contre ce risque, il faudra donc mettre en place un stock de sécurité qui dépendra de la qualité des prévisions, c'est-à-dire de l'importance des erreurs de prévisions.

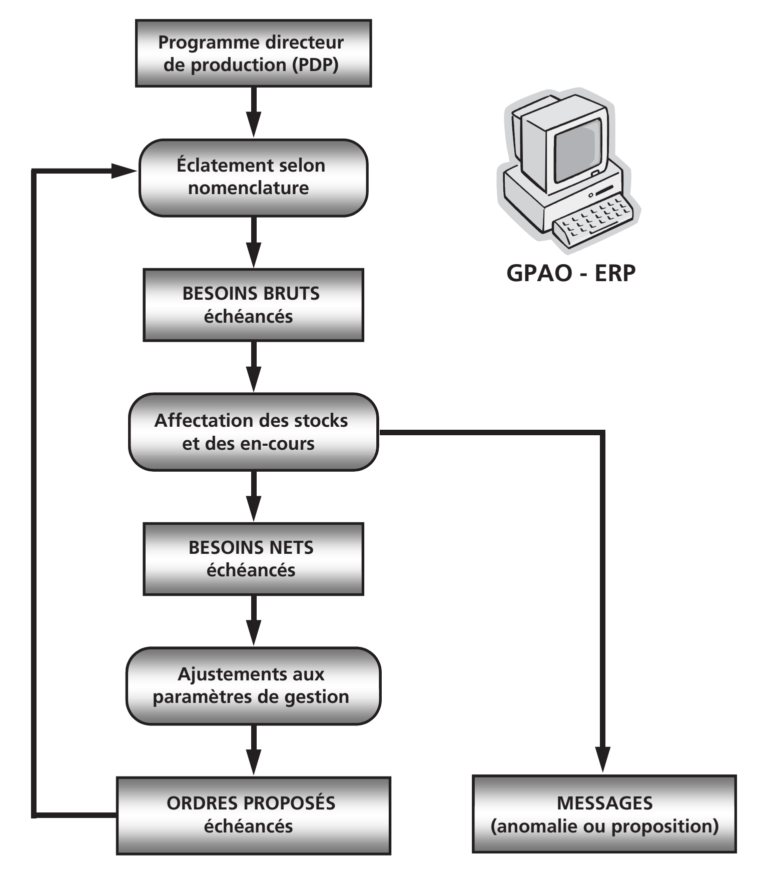


Figure 5.3 – Algorithme du calcul des besoins

Le calcul des besoins traite d'abord les produits finis (voir Programme directeur de production en fin de chapitre), puis les articles niveau par niveau en partant du plus haut. Pour chaque article, on calcule les besoins bruts par éclatement, *via* les nomenclatures des propositions de fabrication des niveaux supérieurs, puis on les confronte aux stocks disponibles et aux en-cours. Si des besoins nets apparaissent, le logiciel planifie des ordres proposés en appliquant des règles de gestion (taille de lot, délai, couverture, etc.). Le calcul des besoins délivre parfois des messages pour signaler aux gestionnaires des anomalies ou des lancements à faire.

1.4. Horizon de planification

On entend par horizon de planification, la durée à partir de la date actuelle pour laquelle le logiciel va planifier les besoins, et donc les fabrications puis les approvisionnements. Cet horizon dépend des délais et de la nomenclature des articles que l'on souhaite gérer.

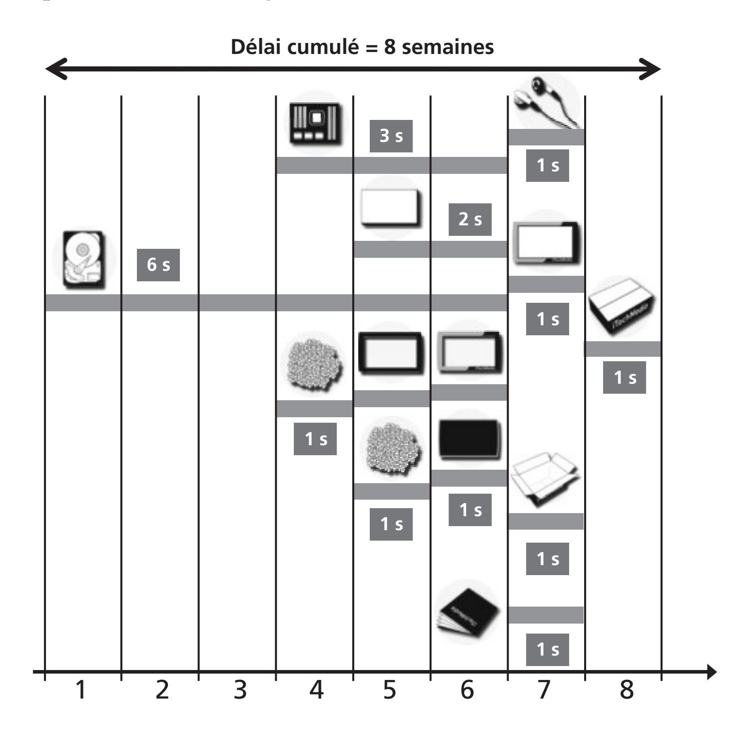


Figure 5.4 – Les délais d'approvisionnement et de fabrication

Pour notre exemple, un horizon de planification trop court (moins de huit semaines) ne permettra pas d'anticiper les besoins en disques durs, et donc ne

permettra pas de planifier à l'avance leur réapprovisionnement. À l'inverse, un horizon de planification trop long n'est pas nécessaire, car cela entraîne des calculs nombreux qui ne sont pas utiles par la suite.

L'horizon idéal est, en général, égal à deux fois le délai cumulé du produit fini, ce qui permet non seulement de planifier les approvisionnements de tous les composants, mais d'avoir une vision à plus long terme pour éventuellement lisser, anticiper des productions sans que cela pose des problèmes d'approvisionnement. Dans le cas des baladeurs **iTechMedia**, il faudrait donc un horizon de seize semaines. Pour la suite, nous afficherons les tableaux de calcul avec seulement dix semaines d'horizon, pour des raisons de mise en page.

2. Calcul des besoins

2.1. Cas des produits finis

2.1.1. Besoin commercial

Avant de planifier la production d'un produit fini, il faut déterminer les quantités qui vont être vendues, c'est-à-dire le besoin commercial.

Le besoin commercial est calculé à partir des informations suivantes :

- les commandes fermes : il s'agit des commandes clients déjà enregistrées ;
- les commandes prévisionnelles : certains clients donnent parfois des informations sur les commandes futures (cas des constructeurs automobiles vis-à-vis des équipementiers de rang un par exemple) ;
- les prévisions de ventes : réalisées par le service commercial pour estimer les ventes futures aux clients qui ne transmettent pas de commandes prévisionnelles (voir chapitre 4 : Prévision de la demande).

À partir de ces informations, on peut calculer, période après période, des prévisions restantes. Dans le cas de l'entreprise **iTechMedia**, c'est le service commercial qui réalise les prévisions de ventes. Pour le modèle PF500Go qui va, à terme, remplacer le modèle PF120Go, les prévisions sont à la hausse (ligne « Prévisions de ventes »). Quelques commandes sont enregistrées à court terme (ligne « Commandes fermes »). La ligne « Prévisions restantes » indique les quantités prévues mais non encore vendues. La ligne « Besoin commercial » indique la totalité des produits qu'il faudra livrer (Commandes fermes + Prévisions restantes).

PF500Go	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Prévisions de ventes	220	300	330	400	600	750	950	1200	1400	1500
Commandes fermes	150	100	80	20						
Prévisions restantes	70	200	250	380	600	750	950	1200	1400	1500
Besoin commercial	220	300	330	400	600	750	950	1200	1400	1500

Figure 5.5 – Les prévisions et les commandes de PF500Go

Lorsque l'entreprise **iTechMedia** reçoit une nouvelle commande, le chiffre des « Commandes fermes » augmente et, en conséquence, le chiffre des « Prévisions restantes » diminue. De cette façon, le besoin commercial global (commandes fermes + prévisions restantes) reste constant, ce qui permet de garantir une certaine stabilité pour la planification des fabrications. Voici le tableau mis à jour avec l'enregistrement d'une nouvelle commande de 20 PF500Go à livrer en semaine 2.

PF500Go	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Prévisions de ventes	220	300	330	400	600	750	950	1200	1400	1500
Commandes fermes	150	120	80	20						
Prévisions restantes	70	180	250	380	600	750	950	1200	1400	1500
Besoin commercial	220	300	330	400	600	750	950	1200	1400	1500

Figure 5.6 – Les prévisions et les commandes après enregistrement d'une commande de 20 PF500Go

Néanmoins, il arrive parfois que lors de la prise d'une nouvelle commande, on juge que celle-ci n'était pas prévue (nouveau client dans un pays où l'entreprise n'a pas l'habitude de vendre par exemple), dans ce cas on ajoutera la commande aux commandes fermes mais on ne baissera pas les prévisions restantes. Le besoin commercial global va donc augmenter, ce qui, si cela arrivait souvent, pourrait éventuellement poser des problèmes de planification de la production ou des approvisionnements. Voici le tableau mis à jour avec l'enregistrement d'une nouvelle commande de 30 PF500Go à livrer en semaine 1 venant d'un nouveau client et qui n'était pas prévue.

Par la suite, dans le tableau de planification des produits finis, nous ne garderons que les lignes « Commandes fermes » et « Prévisions restantes ».

PF500Go	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Prévisions de vente	220	300	330	400	600	750	950	1 200	1 400	1 500
Commandes fermes	180	120	80	20						
Prévisions restantes	70	180	250	380	600	750	950	1 200	1 400	1 500
Besoin commercial	250	300	330	400	600	750	950	1 200	1 400	1 500

Figure 5.7 – Les prévisions et les commandes après enregistrement d'une commande de 30 PF500Go

2.1.2. Incertitude et stock de sécurité

Faire des prévisions de ventes n'est pas chose facile, et l'on peut dire que les prévisions sont toujours fausses. Il faut donc se couvrir pour éviter d'être en rupture de stock lorsque les ventes réelles seront supérieures aux prévisions. Deux façons possibles :

- mettre en place un stock de sécurité fondé sur l'habitude (exemple : 10 jours de consommation) ;
- calculer à partir d'un historique des erreurs de prévisions (ei) la dispersion de celles-ci (écart-type) et constituer le stock de sécurité en conséquence, en utilisant la formule $SS = z.\sigma_{ei}\sqrt{D}$ (voir chapitre 3 : Gestion des stocks).

Si le produit fini subit par ailleurs d'autres aléas (rebuts par exemple), il faudra augmenter le stock de sécurité pour se couvrir dans le cas où les deux aléas surviendraient en même temps. Les stocks de sécurité sont donc directement liés aux aléas, et si ceux-ci sont peu nombreux (bonnes prévisions, bonne maîtrise de la qualité, etc.) alors il n'y a pas de raison d'avoir des stocks de sécurité importants.

Tous les articles gérés dans une usine doivent avoir un stock de sécurité, car même si l'on n'a aucun aléa sur la production ou l'approvisionnement d'un article, celui-ci est soumis aux aléas de son ou ses articles parents. La maîtrise des aléas, l'amélioration continue qui permet de réduire les aléas, font qu'avec la démarche MRP on a, en général, beaucoup moins de stocks de sécurité qu'avec les méthodes de gestion traditionnelles (voir chapitre 3 : Gestion des stocks). Il faut, en revanche, que la mise à jour des stocks de sécurité, notamment pour les baisser lorsque cela est possible, soit effectuée fréquemment par les gestionnaires de production ; sinon, au cours du temps, il y a le risque que les stocks de sécurité augmentent et contribuent en fin d'année à des valeurs d'inventaires catastrophiques.

Le tableau ci-dessous donne les quantités actuellement en stock et les stocks de sécurité définis pour chacun des articles de l'usine **iTechMedia** (voir chapitre 2 : Données techniques).

Code	Désignation	Unité	Type	Stock	SS
PF120Go	Baladeur 120 Go emballé	Pièce	PF	300	100
PF250Go	Baladeur 250 Go emballé	Pièce	PF	100	200
PF500Go	Baladeur 500 Go emballé	Pièce	PF	400	300
Emb	Emballage	Pièce	A	8000	5000
Doc	Documentation	Carton de 100	A	15	10
B120	Baladeur 120 Go	Pièce	F	400	150
B250	Baladeur 250 Go	Pièce	F	200	500
B500	Baladeur 500 Go	Pièce	F	300	750
DD120Go	Disque dur 120 Go	Pièce	A	4000	5000
DD250Go	Disque dur 250 Go	Pièce	A	8500	5000
DD500Go	Disque dur 500 Go	Pièce	A	6000	5000
Carte120	Carte électronique	Pièce	A	1950	2000
Carte250	Carte électronique	Pièce	A	2300	2000
Carte500	Carte électronique	Pièce	A	1100	2000
Boîtier	Boîtier inférieur	Pièce	F	6800	2500
CouvD	Couvercle décoré	Pièce	F	4800	2500
CouvB	Couvercle brut	Pièce	F	2000	5000
MP	Matière plastique	Sac de 25 kg	A	69	100
Écran	Écran tactile	Carton de 50	A	190	50
Ecout	Écouteur	Pièce	A	5000	2000

Figure 5.8 – Les stocks et stocks de sécurité chez iTechMedia

Pour l'article « Écran », il y a 190 cartons de 50 écrans en stock et pour se couvrir contre les aléas, on souhaite maintenir un stock minimal (stock de sécurité) de 50 cartons de 50 écrans.

2.1.3. Planification

Nous sommes actuellement au début de la semaine 1, et même plus exactement le dimanche avant le lundi de la semaine 1. Le produit fini PF500Go est

emballé par lot multiple de 400 (correspondant à une palette) avec un délai de cinq jours (soit une semaine), et cela quelle que soit la taille de lot. Il n'y a, pour l'instant, aucune fabrication en cours dans l'usine (pas d'ordre lancé).

	Taille de lot = x 400 Niveau = 0			Délai = 1s Unité = Pièce			Stock = 400		SS = 300	
PF500Go	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**
Prévisions restantes	70	180	250	380	600	750	950	1200	1400	1500
Commandes fermes	180	120	80	20						
Stock disponible 100										
Ordres lancés (fin)										
Ordres proposés (fin)										
Ordres proposés (déb)										

Messages :

Figure 5.9 – Le tableau de planification de PF500Go

Voici ci-dessus le tableau de planification de l'article PF500Go pour les dix prochaines semaines. Les deux premières lignes constituent le besoin commercial à satisfaire (en début de période). La ligne « stock disponible » permettra de calculer le stock restant en fin de semaine en fonction des sorties prévisionnelles de stock (besoin commercial) et en fonction des entrées prévisionnelles en stock (ordre lancé qui se termine, ou fin d'un ordre de fabrication proposé). Le stock disponible de départ est de 100 car, afin de conserver un stock minimal (stock de sécurité) de 300, le plus simple est de considérer dans les calculs que nous n'avons pas ces 300 produits finis.

Le calcul des besoins nets (CBN) de cet article va permettre de planifier les fabrications futures de PF500Go. Pour chaque période en partant de la première, le logiciel va calculer les besoins nets avec la formule suivante :

Besoin net = Besoin brut (besoin commercial ici) –
Stock de la période précédente + Ordre lancé éventuel

Si le besoin net est positif, alors le logiciel cherchera à placer un ordre proposé qui se terminera dans la période, et dont la date de début sera décalée de la valeur du délai.

Le logiciel calculera alors le stock de fin de la période avec la formule suivante :

> Stock fin de période = Stock fin de période précédente + Ordre lancé éventuel + Ordre proposé éventuel – Besoin brut (besoin commercial ici)

Si le logiciel ne peut pas placer un ordre parce que le délai ne le permet pas, alors le stock deviendra négatif. Si la valeur négative ne dépasse pas la valeur du stock de sécurité, il s'agira simplement d'une utilisation du stock de sécurité ; dans le cas contraire, il s'agira d'une rupture de stock prévisionnelle. Il faut noter ici, qu'il est normal d'utiliser de temps en temps le stock de sécurité, sinon on pourrait se poser la question de son utilité et alors envisager de le réduire.

		Taille de lot = x 400 Niveau = 0			Délai = 1s Unité = Pièce			Stock = 400		SS = 300	
PF500Go		**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**
Prévisions restantes		70	180	250	380	600	750	950	1200	1400	1500
Commandes fermes		180	120	80	20						
Stock disponible	100	-150	350								
Ordres lancés (fin)											
Ordres proposés (fin)			800								
Ordres proposés (déb)		800									

Messages : utilisation du stock de sécurité en semaine 1 ; lancer un OF de 800 PF500Go pour la semaine 2.

Figure 5.10 – 1re étape du calcul des besoins de PF500Go

Pour la semaine 1, le logiciel calcule le Besoin net = Besoin commercial – Stock de la période précédente + Ordre lancé éventuel. Soit BN1 = 250 – 100 = 150. Celui-ci étant positif, le logiciel devrait proposer un ordre de fabrication (ordre proposé) qui se terminerait en début de semaine 1 et, compte tenu du délai de une semaine, qui devrait donc commencer en début de semaine 0. Ceci n'est pas possible car la semaine 0 est dans le passé. Donc, le logiciel calcule le stock de fin de la semaine 1 : StockfinS1 = 100 + 0 – 250 = -150. Il y aura donc utilisation du stock de sécurité pendant la semaine 1, ce qui conduit le logiciel à enregistrer un message à destination du gestionnaire pour l'informer.

Pour la semaine 2, le logiciel calcule le Besoin net = Besoin commercial – Stock de la période précédente + Ordre lancé éventuel. Soit BN2 = 300 – (-150)

= 450. Celui-ci étant positif, le logiciel va proposer un ordre de fabrication (ordre proposé) qui se terminera en début de semaine 2 et qui devra donc commencer en début de semaine 1. Comme on se trouve justement en début de semaine 1, un message à destination du gestionnaire sera enregistré. Le logiciel doit ensuite calculer la taille de lot de cet ordre en fonction des données de gestion de cet article. Ici, la taille de lot est multiple de 400. Donc, pour couvrir le besoin net de 450, il faudra un ordre proposé de 800 PF500Go. Le logiciel calcule le stock de fin de la semaine 2 : StockfinS2 = -150 + 800 – 300 = 350.

		Taille de lot = x 400 Niveau = 0			Délai = 1s Unité = Pièce			Stock = 400		SS = 300	
PF500Go		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Prévisions restantes		70	180	250	380	600	750	950	1 200	1 400	1 500
Commandes fermes		180	120	80	20						
Stock disponible	100	-150	350	20	20						
Ordres lancés (fin)											
Ordres proposés (fin)			800		400						
Ordres proposés (déb)		800		400							

Messages : utilisation du stock de sécurité en S1 ; lancer un OF de 800 PF500Go pour la semaine 2.

Figure 5.11 – 2e étape du calcul des besoins de PF500Go

Pour la semaine 3, le logiciel calcule : BN3 = 330 – 350 = -20. Celui-ci étant négatif, le logiciel ne proposera pas d'ordre de fabrication. StockfinS3 = 350 – 330 = 20.

Pour la semaine 4, BN4 = 400 – 20 = 380. Celui-ci étant positif, le logiciel va proposer un ordre de fabrication (taille de lot = 400 pour couvrir le besoin net de 380) qui se terminera en semaine 4 et qui va donc commencer en semaine 3. StockfinS4 = 20 + 400 – 400 = 20.

Le tableau suivant montre le résultat final du calcul des besoins de l'article PF500Go.

		Taille de lot = x 400 Niveau = 0			Délai = 1s Unité = Pièce			Stock = 400		SS = 300	
PF500Go		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Prévisions restantes		70	180	250	380	600	750	950	1 200	1 400	1 500
Commandes fermes		180	120	80	20						
Stock disponible	100	-150	350	20	20	220	270	120	120	320	20
Ordres lancés (fin)											
Ordres proposés (fin)			800		400	800	800	800	1 200	1 600	1 200
Ordres proposés (déb)		800		400	800	800	800	1 200	1 600	1 200	

Messages : utilisation du stock de sécurité en S1 ; lancer un OF de 800 PF500Go pour la semaine 2.

Figure 5.12 – État final du calcul des besoins de PF500Go

L'écran ci-dessous montre le résultat du calcul effectué par la GPAO Odyssée pour le même article.

Tableaux du calcul des besoins

Recherche | Messages | Imprimer | Fermer

Code PF500Go | Baladeur 500Go emballé | Unité UN | Zone ferme 0

Lot 400 | Délai 5 | Stock 400 | SS 300 | Lotissement Multiple | Niveau 0

Semaine n° 1 | Jour | Semaine | << | 15 | >>

Pour obtenir le détail des données : double-cliquez dans une case !

Semaine	<<<<	1	2	3	4	5	6	7	>>>>
Date	Avant	03/01/2011	10/01/2011	17/01/2011	24/01/2011	31/01/2011	07/02/2011	14/02/2011	Après
Prévision		70	180	250	380	600	750	950	4100
Commande		180	120	80	20				
Besoin brut									
Ordre F ou L fin									
Ordre F début									
Stock	100	-150	350	20	20	220	270	120	20
Ordre P fin			800		400	800	800	800	4000
Ordre P début		800		400	800	800	800	1200	2800

QLIO Annecy | ODYSSEE GPAO - © P.BONNEFOUS

Figure 5.13 – Calcul des besoins de PF500Go avec la GAO Odyssée

On trouvera ci-dessous les résultats du calcul des besoins pour les articles PF120Go et PF250Go, sachant qu'il y a actuellement un ordre de 1 600 PF120Go en cours de fabrication dans l'atelier (date de fin = début de semaine 1) et un

ordre de 2000 PF250Go en cours de fabrication dans l'atelier (date de fin = début de semaine 1). La ligne « Ordres lancés (fin) » permet d'enregistrer ces quantités en cours de production (voir figure 2.23 dans le chapitre 2 : Données techniques).

On remarquera que le produit PF120Go est un produit en fin de vie, car il a des ventes qui baissent (c'est le produit PF500Go qui va prendre la relève) alors que le produit PF250Go est, aujourd'hui, le produit le plus vendu.

		Taille de lot = x 400			Délai = 1s			Stock = 300		SS = 100	
		Niveau = 0			Unité = Pièce						
PF120Go		**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**
Prévisions restantes		100	200	550	800	800	800	700	400	400	300
Commandes fermes		1400	1100	550	100						
Stock disponible	200	300	200	300	200	200	200	300	300	300	0
Ordres lancés (fin)		1600									
Ordres proposés (fin)			1200	1200	800	800	800	800	400	400	
Ordres proposés (déb)		1200	1200	800	800	800	800	400	400		

Message : lancer un OF de 1200 PF120Go pour la semaine 2.

		Taille de lot = x 400			Délai = 1s			Stock = 100		SS = 200	
		Niveau = 0			Unité = Pièce						
PF250Go		**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**
Prévisions restantes		200	600	1200	1900	2400	2700	2800	2900	3100	3200
Commandes fermes		1700	1500	1000	500	100					
Stock disponible	-100	300	200	300	200	200	200	300	300	300	0
Ordres lancés (fin)		2000									
Ordres proposés (fin)			2400	2000	2400	2400	2800	2800	2800	3200	3200
Ordres proposés (déb)		2400	2000	2400	2400	2800	2800	2800	3200	3200	

Message : lancer un OF de 2400 PF250Go pour la semaine 2.

Figure 5.14 – Calcul des besoins de PF120Go et PF250Go

On remarquera que, pour le produit PF250Go ci-dessus, dès le départ le stock physique est inférieur au stock de sécurité, ce qui explique le -100 du stock disponible de départ.

2.2. Cas des composants autres que les produits finis

2.2.1. Le calcul des besoins bruts

Nous allons nous intéresser maintenant au cas de l'article B500 qui est le baladeur **iTechMedia** assemblé, qui plus tard est emballé pour former le produit fini PF500Go. La nomenclature mononiveau du produit fini PF500Go est représentée ci-dessous (voir chapitre 2 : Données techniques).

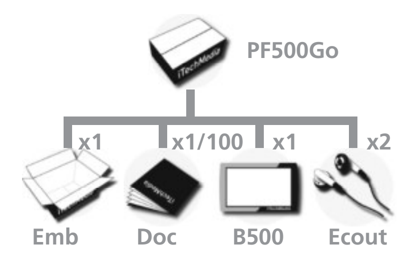


Figure 5.15 – Nomenclature mononiveau de PF500Go

Le tableau que l'on va utiliser pour calculer les besoins de l'article B500, qui n'est pas un produit fini, sera le suivant :

		Taille de lot = x 600			Délai = 1s			Stock = 300		SS = 750	
		Niveau = 1			Unité = Pièce						
B500		**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**
Besoins bruts											
Stock disponible	-450										
Ordres lancés (fin)		1200									
Ordres proposés (fin)											
Ordres proposés (déb)											

Messages :

Figure 5.16 – Le tableau de planification de B500

La taille de lot de l'article B500 est multiple de 600 avec un délai de cinq jours (1 semaine) quelle que soit la taille de lot. Il y a actuellement une fabrication en

cours dans l'atelier d'assemblage de 1200 baladeurs avec date de fin pour le début de la semaine 1 (voir figure 2.22 dans le chapitre 2 : Données techniques).

Avant de faire le calcul des besoins nets (CBN) de l'article B500 il faut faire le calcul des besoins bruts (CBB). L'article B500 est un composant de l'article PF500Go (voir nomenclature ci-dessus). La logique veut que l'on aura besoin des baladeurs B500 lorsque l'on souhaitera réaliser des articles PF500Go c'est-à-dire emballer ces mêmes baladeurs. Donc, les besoins en baladeurs proviendront des lancements prévisionnels en fabrication des PF500Go, c'est-à-dire des dates de début des ordres proposés de PF500Go.

Exemple : considérons l'ordre proposé de 800 PF500Go dont la date de début est au début de la semaine 1 et la date de fin au début de la semaine 2. Pour pouvoir emballer ces produits finis pendant la semaine 1 il faudra avoir 800 baladeurs B500 disponibles dans le stock dès le début de la semaine 1 : c'est pourquoi le besoin brut de la semaine 1 est de 800.

	Taille de lot = x 400 Niveau = 1			Délai = 1s Unité = Pièce			Stock = 400		SS = 300	
PF500G0	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**
Ordres proposés (fin)		800		400	800	800	800	1200	1600	1200
Ordres proposés (déb)	800		400	800	800	800	1200	1600	1200	

		Taille de lot = x 600 Niveau = 1			Délai = 1s Unité = Pièce			Stock = 300		SS = 750	
B500		**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**
Besoins bruts		800		400	800	800	800	1200	1600	1200	
Stock disponible	-450										
Ordres lancés (fin)		1200									
Ordres proposés (fin)											
Ordres proposés (déb)											

Messages :

Figure 5.17 – Le calcul des besoins bruts de B500

Lorsque les besoins bruts d'un article sont obtenus, il suffit ensuite de faire le calcul des besoins nets.

		Taille de lot = x 600 Niveau = 1			Délai = 1s Unité = Pièce			Stock = 300		SS = 750	
B500		**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**
Besoins bruts		800		400	800	800	800	1200	1600	1200	
Stock disponible	-450	-50	550	150	550	350	150	150	350	350	350
Ordres lancés (fin)		1200									
Ordres proposés (fin)			600		1200	600	600	1200	1800	1200	
Ordres proposés (déb)		600		1200	600	600	1200	1800	1200		

Messages : lancer un OF de 600 B500 pour la semaine 2.

Figure 5.18 – Le calcul des besoins nets de B500

On comprend à travers le mécanisme de calcul des besoins bruts que le logiciel ne peut traiter un article que si le ou les articles parents ont déjà été traités. Cela explique pourquoi le CBN traite les articles en fonction de leur niveau dans les nomenclatures : du plus haut niveau (niveau 0 pour les produits finis) aux plus bas niveaux (qui correspondent à des articles achetés). Dans le cas où un article apparaît à plusieurs niveaux dans les nomenclatures (cas de MP par exemple) il faut donc, avant de calculer les besoins bruts et nets de cet article, avoir traité tous ses parents, y compris donc, ceux qui sont les plus bas dans la nomenclature. C'est pour cette raison, que le calcul des niveaux des articles applique la règle du plus bas niveau (voir chapitre 2 : Données techniques).

Voici ci-dessous le résultat du calcul des besoins pour les baladeurs B120 et B250.

		Taille de lot = x 600 Niveau = 1			Délai = 1s Unité = Pièce			Stock = 400		SS = 150	
B120		**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**
Besoins bruts		1200	1200	800	800	800	800	400	400		
Stock disponible	250	250	250	50	450	250	50	250	450	450	450
Ordres lancés (fin)		1200									
Ordres proposés (fin)			1200	600	1200	600	600	600	600		
Ordres proposés (déb)		1200	600	1200	600	600	600	600			

Message : lancer un OF de 1200 B120 pour la semaine 2.

Taille de lot = x 600 | Délai = 1s | Stock = 200 | SS = 500
Niveau = 1 | Unité = Pièce

B250		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Besoins bruts		2400	2000	2400	2400	2800	2800	2800	3200	3200	
Stock disponible	-300	-300	100	100	100	300	500	100	500	300	300
Ordres lancés (fin)		2400									
Ordres proposés (fin)			2400	2400	2400	3000	3000	2400	3600	3000	
Ordres proposés (déb)		2400	2400	2400	3000	3000	2400	3600	3000		

Messages : Utilisation du stock de sécurité en S1 ; lancer un OF de 2 400 B250 pour la semaine 2.

Figure 5.19 – Le calcul des besoins nets de B120 et B250

Nous allons maintenant traiter le cas de l'article Doc qui a plusieurs parents. Le coefficient de nomenclature entre l'article Doc et chaque produit fini est de 1/100 car l'unité de gestion de l'article Doc est le carton de 100 documentations.

Le délai d'approvisionnement des documentations est de 5 jours ouvrés, soit 1 semaine et la taille de lot est multiple de 25 cartons de 100 documentations. Il y a actuellement une commande en cours de 50 cartons de documentations qui doivent être livrées début de semaine 1. Dans le magasin de stockage il y a actuellement 15 cartons de documentation et le stock de sécurité a été défini à 10 cartons.

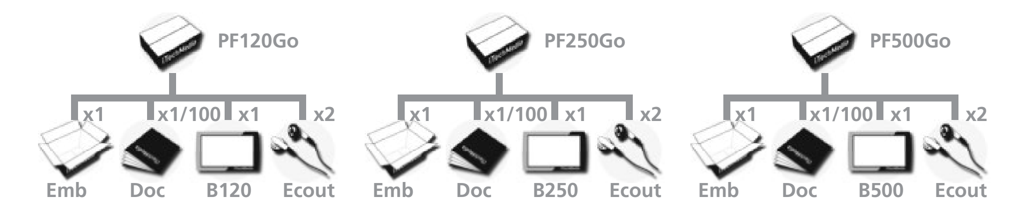


Figure 5.20 – Les articles parents de l'article Doc

Les besoins bruts de l'article Doc vont donc provenir des ordres proposés des trois articles parents (PF120Go, PF250Go et PF500Go) avec un coefficient multiplicateur de 0,01 (=1/100). Le tableau ci-dessous détaille le calcul des besoins bruts en cartons de documentations.

Besoins en Doc	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
OP début PF120Go	1200	1200	800	800	800	800	400	400		
Besoins générés	12	12	8	8	8	8	4	4		
OP début PF250Go	2400	2000	2400	2400	2800	2800	2800	3200	3200	
Besoins générés	24	20	24	24	28	28	28	32	32	
OP début PF500Go	800		400	800	800	800	1200	1600	1200	
Besoins générés	8		4	8	8	8	12	16	12	
TOTAL besoin brut	44	32	36	40	44	44	44	52	44	

Figure 5.21 – Calcul des besoins bruts de l'article Doc

Lorsque ce calcul de besoins bruts est réalisé le logiciel peut effectuer le calcul des besoins nets. En voici le résultat :

		Taille de lot = x 25			Délai = 1s			Stock = 15		SS = 10	
		Niveau = 1			Unité = Carton de 100						
Doc		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Besoins bruts		44	32	36	40	44	44	44	52	44	
Stock disponible	5	11	4	18	3	9	15	21	19	0	0
Ordres lancés (fin)		50									
Ordres proposés (fin)			25	50	25	50	50	50	50	25	
Ordres proposés (déb)		25	50	25	50	50	50	50	25		

Message : lancer un OA de 25 articles Doc (cartons de 100) pour la semaine 2.

Figure 5.22 – Calcul des besoins nets de Doc

On voit à travers cet exemple que les articles achetés sont gérés exactement de la même façon que les articles fabriqués.

2.2.2. Les règles de lotissement

Nous allons nous servir de l'article Doc pour étudier les différentes règles de lotissement. On appelle règle de lotissement, les différentes façons qu'aura le logiciel de proposer des lots en fabrication ou en approvisionnement. Précédemment, nous avons vu la taille de lot multiple (x 25) qui permet de formater

la taille de lot en fonction d'un conditionnement particulier (25 cartons sur une palette par exemple), ou en fonction de la capacité d'un moyen de stockage ou de production.

Une autre façon est d'exprimer la taille de lot avec un minimum pour éviter des frais de transport trop importants ou parce qu'il y a une remise à partir d'une certaine quantité. Voici ce que donnerait le calcul des besoins avec une taille de lot de 35 cartons minimum. On constatera l'utilité du stock de sécurité à partir de la semaine 5, car le stock prévisionnel se réduit à celui-ci (en effet, un stock prévisionnel de 0 dans le tableau correspond en réalité à un stock de 10, soit le stock de sécurité).

		Taille de lot = 35 mini			Délai = 1s			Stock = 15		SS = 10	
		Niveau = 1			Unité = Carton de 100						
Doc		**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**
Besoins bruts		44	32	36	40	44	44	44	52	44	
Stock disponible	5	11	14	13	8	0	0	0	0	0	0
Ordres lancés (fin)		50									
Ordres proposés (fin)			35	35	35	36	44	44	52	44	
Ordres proposés (déb)		35	35	35	36	44	44	52	44		

Message : lancer un OA de 35 articles Doc (cartons de 100) pour la semaine 2.

Figure 5.23 – Calcul des besoins nets de Doc avec lot minimal = 35

Une autre façon est d'exprimer la taille de lot avec une quantité fixe relativement importante (calculée par exemple avec la formule de la quantité économique ou formule de Wilson vue dans le chapitre 3). Voici ce que donnerait le calcul des besoins avec une taille de lot fixe de 150. Il faut noter que la formule de la quantité économique n'est pas forcément appropriée car la consommation future des articles, exprimée *via* les besoins bruts, n'est pas toujours très régulière. Avec une telle politique de lotissement on pourrait éventuellement se passer de stock de sécurité, mais néanmoins les valeurs de stock resteront conséquentes.

Taille de lot = 150 | Délai = 1s | Stock = 15 | SS = 10
Niveau = 1 | Unité = Carton de 100

Doc		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Besoins bruts		44	32	36	40	44	44	44	52	44	
Stock disponible	5	11	129	93	53	9	115	71	19	125	125
Ordres lancés (fin)		50									
Ordres proposés (fin)			150				150			150	
Ordres proposés (déb)		150				150			150		

Message : lancer un OA de 150 articles Doc (cartons de 100) pour la semaine 2.

Figure 5.24 – Calcul des besoins nets de Doc avec lot = 150

Si l'on veut réduire les stocks, on peut utiliser une taille de lot totalement variable. Cela se note de différentes façons : Lot = Besoin net ou BN, ou Lot = x1 ou encore lot/lot. Voici ce que donnerait le calcul des besoins avec une taille de lot totalement variable. Les stocks sont tellement réduits que le stock de sécurité est obligatoire.

Taille de lot = lot/lot | Délai = 1s | Stock = 15 | SS = 10
Niveau = 1 | Unité = Carton de 100

Doc		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Besoins bruts		44	32	36	40	44	44	44	52	44	
Stock disponible	5	11	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ordres lancés (fin)		50									
Ordres proposés (fin)			32	36	40	44	44	44	52	44	
Ordres proposés (déb)		32	36	40	44	44	44	52	44		

Message : lancer un OA de 32 articles Doc (cartons de 100) pour la semaine 2.

Figure 5.25 – Calcul des besoins nets de Doc avec lot = BN

Malheureusement, cette règle de lotissement n'est pas toujours facile à mettre en pratique :

- parce qu'elle engendre de fréquentes livraisons de petites quantités, et que le fournisseur n'est pas proche ou ne dispose pas d'un stock avancé proche de l'usine (dans le cas d'un article acheté) ;

- parce qu'elle engendre de trop fréquents réglages des moyens de production et que les temps de réglage peuvent être longs (dans le cas d'un article fabriqué).

Si l'entreprise ne peut pas se permettre d'avoir des lots chaque semaine (ou chaque jour si l'on utilise des périodes journalières), on peut associer la règle de lotissement à une période de couverture des besoins. Dans l'exemple ci-dessous, on a indiqué une période de couverture de 2 semaines. Lorsque pour la semaine 2, le logiciel constate un besoin net de 21 (32 – 11) cela lui indique que le stock de fin de la semaine 1 ne sera pas suffisant pour les besoins futurs. Le logiciel va alors globaliser les besoins sur 2 semaines pour déterminer un lot qui couvrira les besoins de ces 2 semaines d'un coup. Lot = BBS2 + BBS3 – StockfinS1 = 32 + 36 – 11 = 57.

		Taille de lot = lot/lot			Délai = 1s			Stock = 15		SS = 10	
		Niveau = 1			Unité = Carton de 100				Couverture = 2s		
Doc		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Besoins bruts		44	32	36	40	44	44	44	52	44	
Stock disponible	5	11	36	0	44	0	44	0	44	0	0
Ordres lancés (fin)		50									
Ordres proposés (fin)			57		84		84		96		
Ordres proposés (déb)		57		84		84		96			

Messages : Lancer un OA de 57 articles Doc (cartons de 100) pour la semaine 2.

Figure 5.26 – Calcul des besoins nets de Doc avec lot = BN et période de couverture de deux semaines

Les stocks sont plus importants avec cette politique qu'avec la précédente. Il est évident que si l'on souhaite réduire les stocks, il faut améliorer à la fois la fréquence des livraisons (fournisseurs proches et logistique appropriée) et la fréquence des changements de série (temps de réglage plus courts) : voir le chapitre 11 sur le *Lean Manufacturing*.

2.2.3. Résolution de problème

On aura compris que l'ensemble des calculs réalisés pour planifier les approvisionnements et les fabrications sont réalisés automatiquement par la GPAO ou l'ERP. On pourrait donc se poser la question de l'utilité du gestionnaire de production, ou planificateur, ou encore logisticien !

Il est bien évident que son rôle est fondamental :

- c'est lui qui choisit, saisit, et maintient à jour les différents paramètres de gestion des articles qui sont sous sa responsabilité ;
- c'est lui qui, en fonction des messages du calcul des besoins, fait des vérifications et valide les lancements (approvisionnements et fabrication) ;
- c'est lui qui, en parallèle aux tâches de gestion quotidienne, réfléchit et participe à la mise en place des améliorations concernant les flux physiques (stockage, implantation, réduction des temps de réglage, etc.) et qui modifiera en conséquence les données techniques dans la GPAO ou l'ERP ;
- c'est lui qui trouvera des solutions pour les différents problèmes qui ne manqueront pas de surgir (rupture, retard, surcharge, etc.).

Les GPAO ou les ERP, ne sont finalement que des calculatrices élaborées. Certes, cela permet de planifier la fabrication et les approvisionnements de milliers d'articles mais cela ne réfléchit pas !

Pour illustrer la résolution de problème, nous allons maintenant traiter le cas de l'article « Ecout ». Les nomenclatures nous indiquent qu'il y a deux paires d'écouteurs livrées avec chaque baladeur. Une commande fournisseur de 3600 écouteurs a été passée la semaine dernière avec réception en semaine 1. Voici le résultat du calcul des besoins pour l'article « Ecout » :

		Taille de lot = x 1 000 Niveau = 1			Délai = 1s Unité = Pièce			Stock = 5 000		SS = 2 000	
Ecout		**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**
Besoins bruts		8800	6400	7200	8000	8800	8800	8800	10400	8800	
Stock disponible	3000	-2200	400	200	200	400	600	800	400	600	600
Ordres lancés (fin)		3600									
Ordres proposés (fin)			9000	7000	8000	9000	9000	9000	10000	9000	
Ordres proposés (déb)		9000	7000	8000	9000	9000	9000	10000	9000		

Messages : rupture de stock en semaine 1 ; lancer un OA de 9000 articles « Ecout » pour la semaine 2.

Figure 5.27 – Calcul des besoins nets de Ecout

Le logiciel détecte donc un problème futur de rupture de stock. En effet, si rien n'est fait et compte tenu du fait que le stock de sécurité n'est que de 2000 écouteurs, avant la fin de la semaine 1 nous aurons une rupture de stock

de 200 écouteurs. La raison de cette rupture n'est pas explicitée ici, mais la cause peut provenir de différents aléas sur la gestion de cet article ou alors dans la gestion des articles parents de cet article. La GPAO a donc détecté un problème, c'est le gestionnaire qui doit trouver une solution :

- une idée serait de vite appeler le fournisseur (ou un autre fournisseur) d'écouteurs pour qu'il nous envoie en urgence, par taxi par exemple, 200 écouteurs (ou plus pour se donner un peu de marge). Ce n'est pas la bonne solution, car ces quelques écouteurs vont coûter très cher et leur réception en milieu de semaine 1 va désorganiser la production. Il faudra réserver ce type de solution aux cas où l'on ne peut pas faire autrement ;
- avant d'appeler le fournisseur, il faudrait d'abord regarder dans la GPAO ou l'ERP ce qui va provoquer la rupture (ici c'est le besoin de 8800 écouteurs de la semaine 1) et tenter de faire baisser ce besoin. Si on y arrive, alors on n'aura pas à appeler au secours le fournisseur et cela ne coûtera presque rien.

Le besoin brut de 8800 écouteurs de la semaine 1 provient des fabrications prévues (ordres proposés) pour les articles PF120Go, PF250Go et PF500Go.

Besoins en Ecout	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**
OP début PF120Go	1200	1200	800	800	800	800	400	400		
Besoins générés	2400	2400	1600	1600	1600	1600	800	800		
OP début PF250Go	2400	2000	2400	2400	2800	2800	2800	3200	3200	
Besoins générés	4800	4000	4800	4800	5600	5600	5600	6400	6400	
OP début PF500Go	800		400	800	800	800	1200	1600	1200	
Besoins générés	1600		800	1600	1600	1600	2400	3200	2400	
TOTAL besoin brut	8800	6400	7200	8000	8800	8800	8800	10400	8800	

Figure 5.28 – Calcul des besoins bruts de Ecout

Si on regarde le résultat du calcul des besoins de l'article PF500Go (rappelé ci-dessous), on voit que l'ordre proposé de 800 (de s1 à s2) laisse en fin de semaine 2 un stock de 350. On peut donc envisager de baisser la taille de ce lot pour faire exceptionnellement un lot plus petit. Si l'on remplace l'ordre proposé de 800 par un ordre de 700 par exemple, alors le besoin brut en écouteurs de la semaine 1 baissera de 200 et il n'y aura plus de rupture.

PF500Go		Taille de lot = x 400 Niveau = 0			Délai = 1s Unité = Pièce			Stock = 400		SS = 300	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Prévisions restantes		70	180	250	380	600	750	950	1200	1400	1500
Commandes fermes		180	120	80	20						
Stock disponible	100	-150	350	20	20	20	270	120	120	320	20
Ordres lancés (fin)											
Ordres proposés (fin)			800		400	800	800	800	1200	1600	1200
Ordres proposés (déb)		800		400	800	800	800	1200	1600	1200	

Messages : utilisation du stock de sécurité en S1 ; lancer un OF de 800 PF500Go pour la semaine 2.

Figure 5.29 – Calcul des besoins nets de PF500Go

Pour imposer une fabrication différente à la place d'un ordre proposé en automatique par le logiciel, il faut utiliser un ordre ferme ou ordre planifié ferme. Nous allons créer un ordre ferme de 700 PF500Go qui commencera en début de semaine 1 et qui se terminera en début de semaine 2.

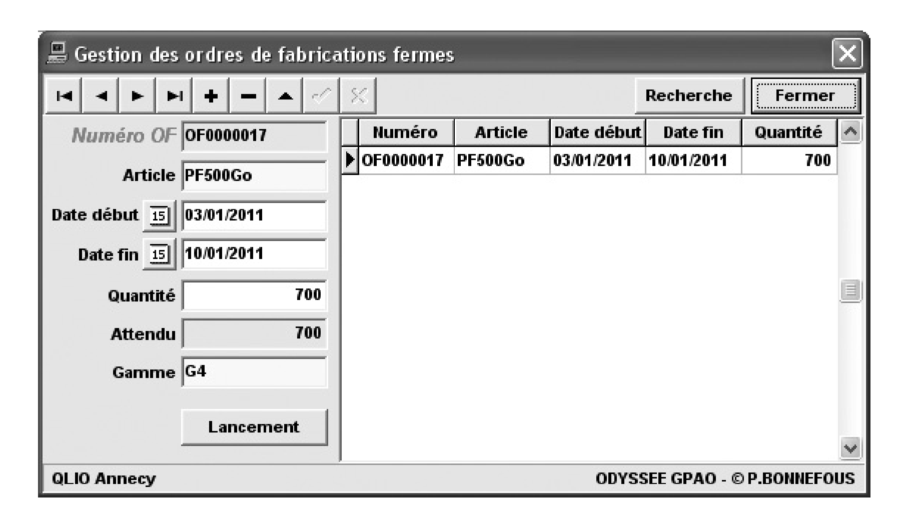


Figure 5.30 – Création d'un ordre ferme

Afin de vérifier si cette solution fonctionne, il faut relancer le calcul des besoins. L'ordre ferme joue le même rôle en termes de planification que l'ordre proposé. La seule différence est qu'il est figé et créé par le gestionnaire,

et que la GPAO (ou l'ERP) ne peut pas le déplacer, l'effacer, comme pour un ordre proposé. On constatera ci-dessous que l'ordre ferme de 700 PF500Go élimine bien la rupture de l'article Ecout.

		Taille de lot = x 400 Niveau = 0			Délai = 1s Unité = Pièce			Stock = 400		SS = 300	
PF500Go		**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**
Prévisions restantes		70	180	250	380	600	750	950	1200	1400	1500
Commandes fermes		180	120	80	20						
Stock disponible	100	-150	250	320	320	120	170	20	20	220	320
Ordres lancés (fin)											
Ordres proposés (fin)			700F	400	400	400	800	800	1200	1600	1600
Ordres proposés (déb)		700F	400	400	400	800	800	1200	1600	1600	

Messages : utilisation du stock de sécurité en S1, Lancer un OF de 800 PF500Go pour la semaine 2.

		Taille de lot = x 1 000 Niveau = 1			Délai = 1s Unité = Pièce			Stock = 5 000		SS = 2 000	
Ecout		**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**
Besoins bruts		8600	7200	7200	7200	8800	8800	8800	10400	9600	
Stock disponible	3000	-2000	800	600	400	600	800	0	600	0	0
Ordres lancés (fin)		3600									
Ordres proposés (fin)			10000	7000	7000	9000	9000	8000	11000	9000	
Ordres proposés (déb)		10000	7000	7000	9000	9000	8000	11000	9000		

Message : lancer un OA de 10000 articles « Ecout » pour la semaine 2.

Figure 5.31 – Le problème de rupture est résolu

L'ordre ferme constitue donc l'outil de résolution de problème du gestionnaire de production. Grâce à ce type d'ordre, il pourra résoudre des problèmes de rupture, des problèmes de surcharge, etc.

Comme on a pu le voir, pour aider le gestionnaire dans ses tâches quotidiennes, la GPAO ou l'ERP enregistre des messages au fur et à mesure du déroulement du calcul des besoins.

Les messages peuvent être les suivants :

- **lancer un ordre** : message le plus courant qui indique qu'un ordre proposé (ou ferme) a sa date de début proche de l'instant présent, et que le gestionnaire doit étudier et valider son lancement ;
- **utilisation du stock de sécurité** : message d'information qui ne nécessite pas spécialement d'action de la part du gestionnaire ;
- **rupture de stock** : message qui informe le gestionnaire d'une future rupture de stock en l'état des informations prévisionnelles. Le gestionnaire doit chercher une solution (cf. exemple ci-dessus) ;
- **avancer un ordre lancé ou ferme** : message qui indique une idée de solution lorsque le calcul des besoins détecte qu'un ordre lancé ou ferme arrive trop tard, provoquant ainsi une rupture de stock. Le gestionnaire cherchera à supprimer la rupture en baissant les besoins bruts (cf. exemple ci-dessus) ou, sinon, il envisagera d'avancer tout ou partie de l'ordre lancé ou ferme, en étudiant les conséquences et avec l'avis du fournisseur ou du responsable de la production ;
- **retarder un ordre lancé ou ferme** : message qui indique une idée de solution lorsque le calcul des besoins détecte qu'un ordre lancé ou ferme arrive trop tôt, provoquant ainsi un sur-stockage. Le gestionnaire envisagera de retarder ou de ne pas retarder l'ordre en fonction de son état d'avancement et/ou de l'état de la charge des ateliers, par exemple ;
- **surstockage** : message qui indique que le logiciel détecte un stock trop important compte tenu de la taille de lot utilisée pour l'article.
- **annuler un ordre lancé ou ferme** : message qui informe le gestionnaire qu'il y a un ordre lancé ou planifié ferme alors qu'il n'existe plus de besoins (suite à des annulations de commandes par exemple). Ce cas est relativement rare.

Ces messages sont réunis dans un fichier et consultable sur l'ordinateur du gestionnaire (voir figure 5.32).

2.3. Fréquence du calcul des besoins

Le calcul des besoins engendre un grand nombre de calculs (nombreux articles, nombreuses périodes dans le futur). Il fut une époque où l'informatique ne permettait pas de lancer le calcul des besoins trop souvent, car le temps de calcul était très important. La règle à l'époque était de faire « tourner le CBN » une fois par semaine (le week-end).

Liste des messages du calcul des besoins effectué le 03/01/2011

Imprimer par articles | Imprimer par dates | Fermer

Numéro	Quantité	Date	Message	Quantité
ME0000001	PF120Go	03/01/2011	Lancer un OF	1200
ME0000002	PF250Go	03/01/2011	Lancer un OF	2400
ME0000003	PF500Go	03/01/2011	Utilisation du stock de sécurité	150
ME0000004	PF500Go	03/01/2011	Lancer un OF	800
ME0000005	B120	03/01/2011	Lancer un OF	1200
ME0000006	B250	03/01/2011	Utilisation du stock de sécurité	200
ME0000007	B250	03/01/2011	Lancer un OF	2400
ME0000008	B500	03/01/2011	Utilisation du stock de sécurité	700
ME0000009	B500	03/01/2011	Lancer un OF	600
ME0000010	Doc	03/01/2011	Lancer un OA	25
ME0000011	Ecout	03/01/2011	Rupture de stock	-200
ME0000012	Ecout	03/01/2011	Lancer un OA	9000
ME0000013	Emb	03/01/2011	Utilisation du stock de sécurité	3600
ME0000014	Emb	03/01/2011	Lancer un OA	10000
ME0000015	Boitier	03/01/2011	Sur stockage	10600
ME0000016	Carte 120	03/01/2011	Sur stockage	4950

QLIO Annecy — ODYSSEE GPAO - © P.BONNEFOUS

Figure 5.32 – Liste des messages du calcul des besoins

Aujourd'hui, les progrès de l'informatique permettent d'effectuer sans souci des calculs de besoins toutes les nuits et permettent même d'effectuer des calculs de besoins pendant la journée, à la demande. Ceci permet au gestionnaire, lorsqu'il a un problème à résoudre, d'essayer une solution et, grâce à un calcul des besoins, de vérifier si le problème sera résolu et si la solution mise en place (*via* des ordres fermes) ne crée pas plus de problèmes qu'elle n'en résout (ruptures, surcharges…). Si cette solution ne convient pas, alors le gestionnaire cherchera une autre solution. Autrefois, le gestionnaire devait attendre le lundi suivant pour voir le résultat des solutions qu'il avait mis en place.

2.4. Calcul des besoins et mode de gestion de production

Dans le cas de la production (et vente) sur stock, les produits finis, les sous-ensembles, les composants fabriqués et achetés ainsi que les matières premières, sont achetés ou fabriqués par anticipation à partir des prévisions de ventes.

Dans le cas de l'assemblage à la commande, les sous-ensembles, les composants fabriqués et achetés ainsi que les matières premières, sont achetés ou fabriqués par anticipation à partir des prévisions de ventes. Les produits finis

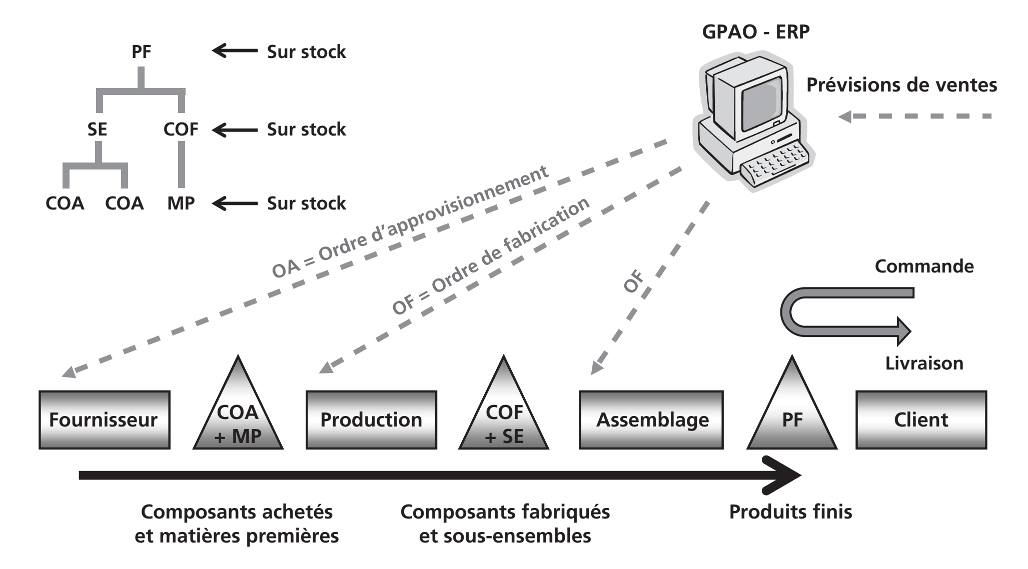


Figure 5.33 – Fabrication (et vente) sur stock

ne sont pas fabriqués à partir des prévisions de ventes mais à partir des commandes clients. Les produits finis seront déclarés comme gérés à la commande (articles fantômes) de façon à ce que le calcul des besoins puisse transmettre de façon transparente les besoins issus des prévisions de ventes aux articles de niveaux inférieurs.

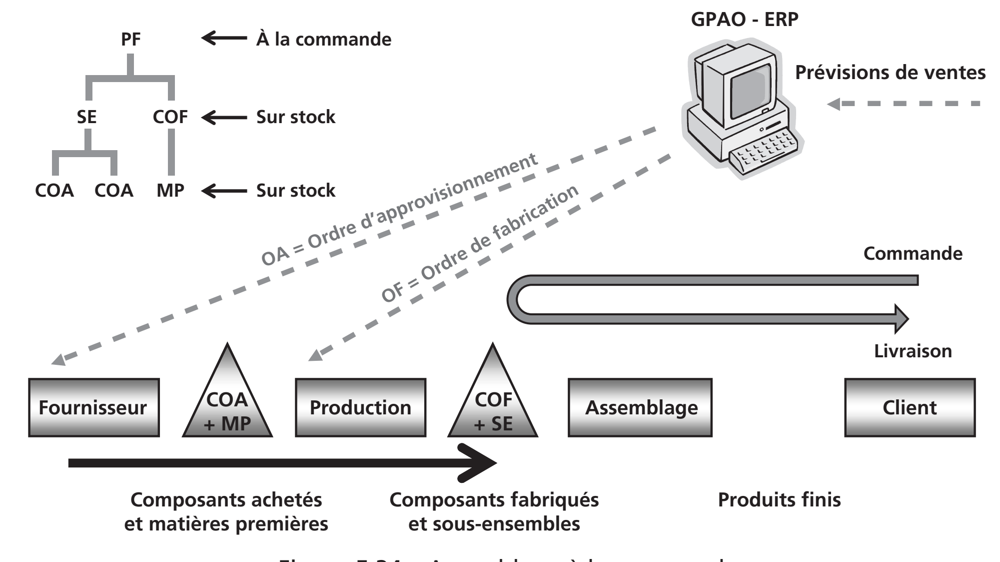


Figure 5.34 – Assemblage à la commande

Dans le cas de la fabrication à la commande, seuls les composants et les matières premières sont achetés par anticipation à partir des prévisions de ventes. Les composants fabriqués, les sous-ensembles ainsi que les produits finis ne sont pas fabriqués à partir des prévisions de ventes mais à partir des commandes clients. Les produits finis, les sous-ensembles et les articles fabriqués seront déclarés comme gérés à la commande (articles fantômes) de façon à ce que le calcul des besoins puisse transmettre de façon transparente les besoins issus des prévisions de ventes aux articles achetés.

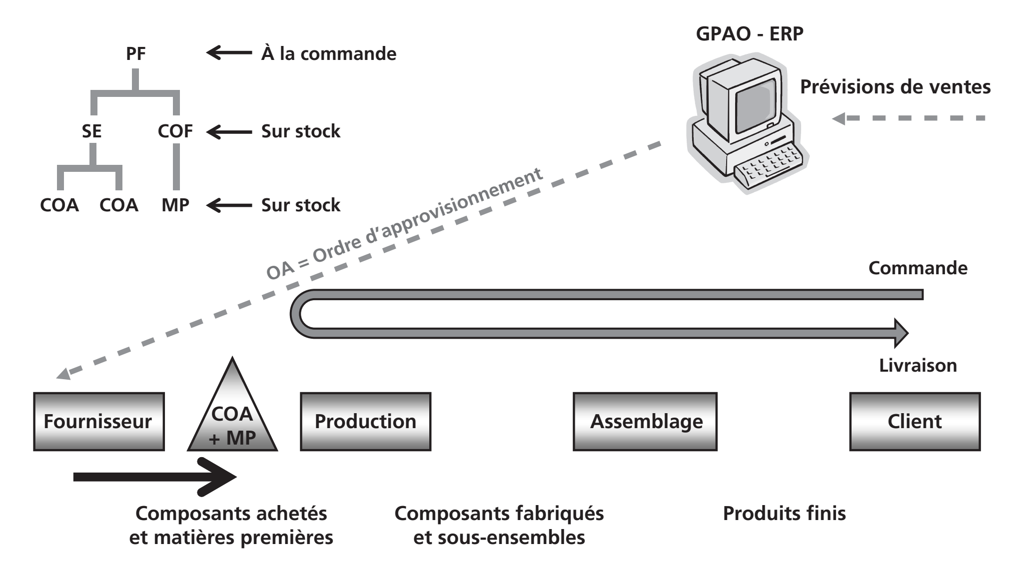


Figure 5.35 – Fabrication à la commande

2.5. Conclusion sur le calcul des besoins

Comme on a pu le voir précédemment, le calcul des besoins permet, à partir de prévisions de ventes et de données techniques, de planifier et de coordonner les approvisionnements, puis les fabrications, puis les assemblages, et enfin les conditionnements, de façon à pouvoir distribuer les produits finis qui vont être commandés par les clients.

Les informations nécessaires au déroulement du calcul sont :

- les nomenclatures donnant les constituants de chaque article ;
- les délais d'obtention des articles (délais de fabrication, d'assemblage ou d'approvisionnement de produits achetés) ;
- les ressources constituées par les articles en stock ou les articles qui vont être disponibles (ordres de fabrication lancés, ordres d'achat en cours et ordres planifiés fermes, c'est-à-dire figés par le gestionnaire) ;

- les règles de gestion comme la taille de lot, le délai, le stock de sécurité ou le taux de rebut.

Les résultats du calcul des besoins nets sont :

- des ordres proposés, c'est-à-dire des lancements prévisionnels en fabrication ou des approvisionnements prévisionnels ;
- des messages proposant au gestionnaire les actions particulières à mener (lancer, avancer, retarder un ordre de fabrication).

3. Calcul des charges détaillées

3.1. Introduction

Un des gros avantages du calcul des besoins, outre l'aide que cela apporte pour décider des lancements à effectuer (commandes ou fabrication), réside dans l'élaboration de programmes prévisionnels quantitatifs de fabrication (l'ensemble des ordres proposés concernant les articles fabriqués).

Si l'entreprise a pris le soin d'associer à chaque article fabriqué une gamme de fabrication, avec des temps opératoires et des temps de préparation (voir chapitre 2 : Données techniques), alors il va être possible de transformer les programmes prévisionnels quantitatifs de fabrication en plan de charge prévisionnels. C'est le rôle du calcul des charges détaillées (CCD).

Ainsi l'objectif du calcul des charges détaillées est de déterminer, de façon précise, l'échéancier des charges de chaque centre de charge de l'entreprise. Rappelons qu'un centre de charge, ou poste de charge, peut être une machine, un groupe de machines, un opérateur, un atelier… Le but est de détecter plusieurs semaines à l'avance toute surcharge dès la planification, car elle conduirait à un problème à l'exécution.

Pour être efficace, le calcul des charges détaillées doit porter sur tous les ordres qui vont apporter une charge : ordres lancés (pour les opérations non encore exécutées), ordres planifiés fermes et ordres proposés.

3.2. Principe du calcul

Pour chaque ordre de fabrication planifié par le calcul des besoins, la GPAO connaît la quantité à fabriquer, la date de début ainsi que la date de fin de l'ordre. La gamme associée donne l'échéancement des opérations avec, pour chaque opération, le centre de charge concerné, les temps de changement de série ou préparation et le temps unitaire d'exécution. Il est donc aisé pour le

logiciel d'affecter les opérations exécutées sur chaque centre de charge dans la période concernée et d'effectuer le calcul de la charge résultante avec la formule :

Charge = Temps Préparation + Temps Exécution × Quantité de l'ordre

3.3. Les données nécessaires

Il faut pour chaque article fabriqué les gammes de fabrication (voir chapitre 2 : Données techniques). La gamme ci-dessous est associée à tous les baladeurs B120, B250 et B500.

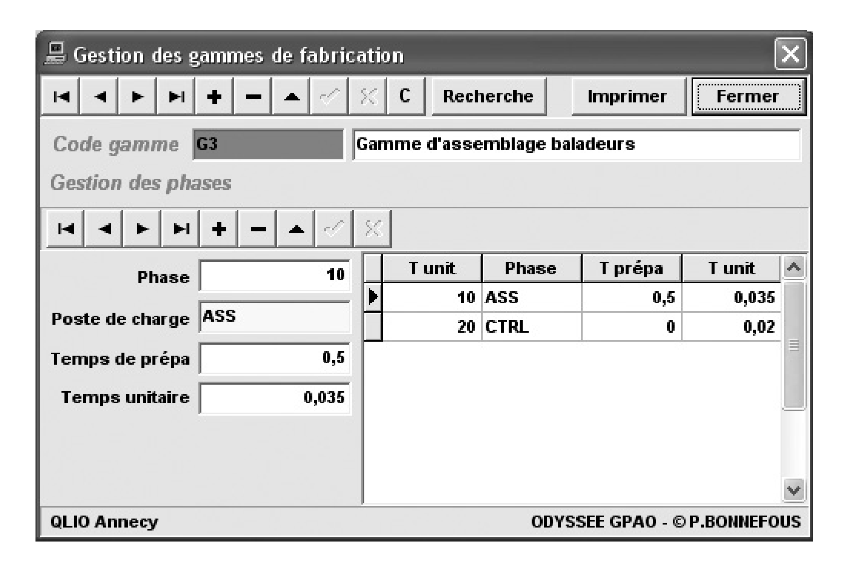


Figure 5.36 – Gamme d'assemblage des baladeurs

Il faut aussi pour chaque centre de charge (ou poste de charge), avoir défini le calendrier d'ouverture, ainsi que le taux d'utilisation et le nombre de postes qui le compose (voir chapitre 2 : Données techniques). Ci-dessous, on constate que le poste de charge « Assemblage » est constitué de 3 postes d'assemblage qui sont utilisés à 90% (d'après un historique, 10% du temps d'ouverture est consacré à des pauses ou des arrêts divers). Le calendrier associé à ce poste est le calendrier général de l'usine (travail posté en 2 équipes de sept heures par jour, cinq jours par semaine).

La capacité hebdomadaire théorique de ce poste est de 2 équipes × 7 heures × 3 postes × 5 jours = 210 heures.

Mais comme les postes ne produisent pas à 100% du temps d'ouverture, la capacité à prendre en compte, qui se nomme capacité démontrée, est égale à la capacité théorique × taux d'utilisation.

Donc la capacité hebdomadaire démontrée du centre (ou poste) de charge « Assemblage » est de 210 × 90% = 189 heures.

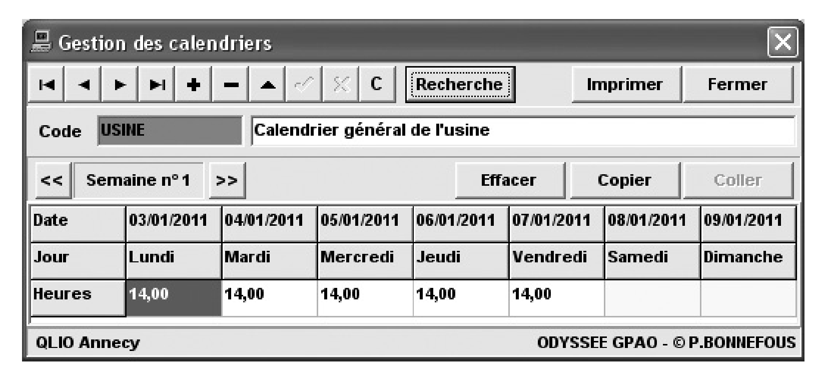


Figure 5.37 – Calendrier général de l'usine

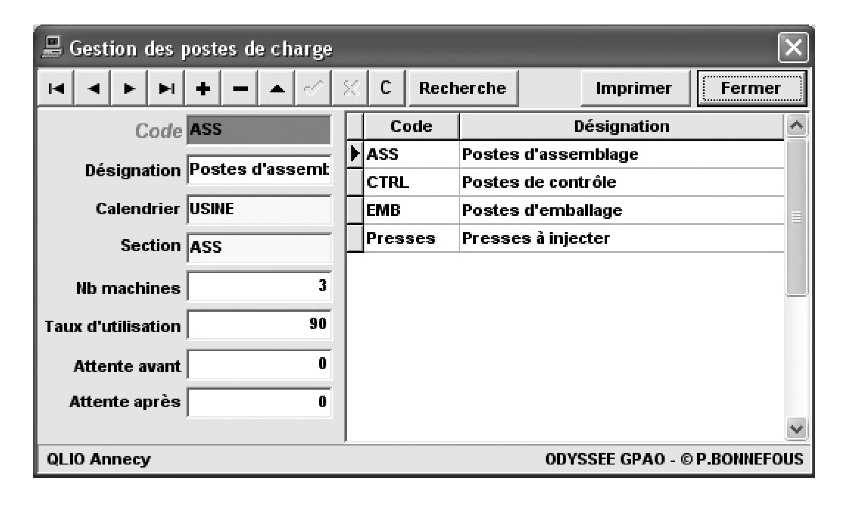


Figure 5.38 – Postes de charge Assemblage

Le calcul des dates prévisionnelles exactes d'exécution des opérations qui sont dans les gammes de fabrication n'est pas chose facile car les temps opératoires ne représentent qu'une petite part du délai d'un article (Voir chapitre 2 : Données techniques). Les logiciels proposent donc différents scénarii *via* la technique du jalonnement. Suivant que les ordres seront jalonnés au plus tôt

(c'est-à-dire que les opérations seront placées en se fondant sur la date de début de l'ordre) ou alors au plus tard (c'est-à-dire que les opérations seront placées à rebours en se fondant sur la date de fin de l'ordre) on n'obtiendra pas le même plan de charge. Comme il s'agit d'un calcul des charges prévisionnelles, on ne sait pas du tout comment les ordres seront ordonnancés réellement, il faut donc que le gestionnaire juge en fonction des deux calculs extrêmes (jalonnement au plus tôt ou au plus tard) si la capacité sera suffisante ou non.

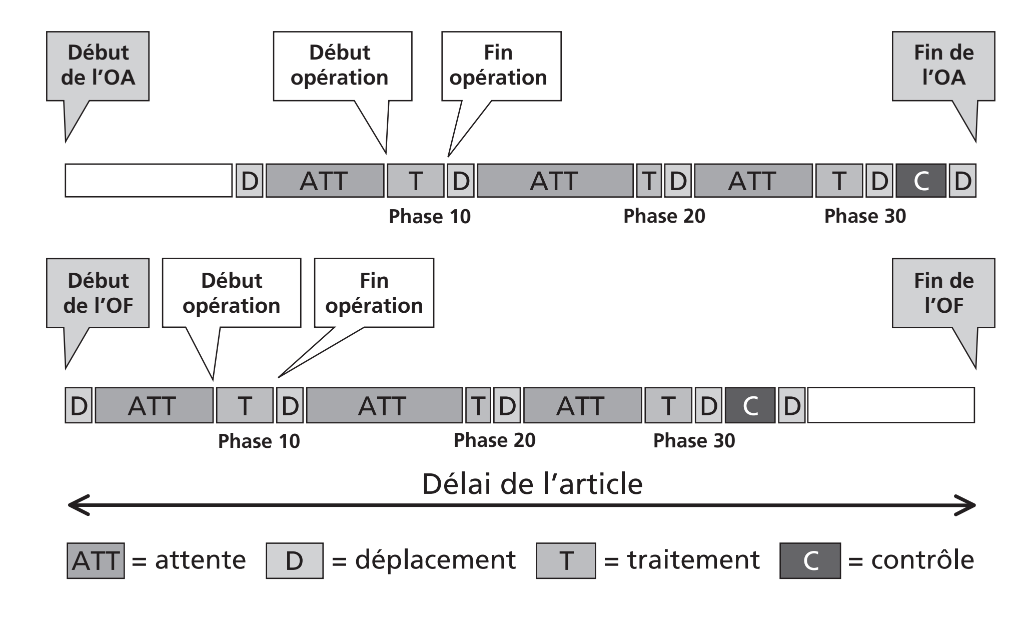


Figure 5.39 – Jalonnement au plus tard ou au plus tôt

3.4. Exemple de calcul

Nous allons faire un calcul des charges détaillées pour le centre de charge de l'assemblage (ASS) qui réalise l'assemblage des baladeurs B120, B250 et B500. Le calcul des besoins ayant été effectué précédemment pour ces 3 articles, nous connaissons maintenant pour les 8 semaines à venir les fabrications qui seront réalisées. Par exemple 600 baladeurs B500 seront assemblés pendant la semaine 1 (début d'assemblage le lundi matin de la semaine 1 et fin pour le lundi matin de la semaine 2, soit le vendredi soir de la semaine 1).

Remarque : le délai d'assemblage de ces articles étant de 1 semaine et souhaitant effectuer un calcul des charges détaillées par semaine, le problème du jalonnement ne se pose pas.

B120	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ordres proposés (fin)		1200	600	1200	600	600	600	600		
Ordres proposés (déb)	1200	600	1200	600	600	600	600			

B250	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ordres proposés (fin)		2400	2400	2400	3000	3000	2400	3600	3000	
Ordres proposés (déb)	2400	2400	2400	3000	3000	2400	3600	3000		

B500	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ordres proposés (fin)		600		1200	600	600	1200	1800	1200	
Ordres proposés (déb)	600		1200	600	600	1200	1800	1200		

Figure 5.40 – Rappel du résultat du calcul des besoins des baladeurs

Voici ci-dessous le détail du calcul des charges puis le calcul du taux de charge hebdomadaire (charge/capacité démontrée). Le calcul fait ici suppose que chaque fabrication est fractionnée sur les 3 postes d'assemblage et cela entraîne donc la comptabilisation dans la charge de 3 temps de préparation.

Par exemple, d'après la gamme de fabrication, les 1200 articles B120 de la semaine 1 engendrent une charge sur l'assemblage de 1200 × 0,035 heure + 3 × 0,5 = 43,5 heures.

ASS	1	2	3	4	5	6	7	8
Fabrication B120	1200	600	1200	600	600	600	600	
Fabrication B250	2400	2400	2400	3000	3000	2400	3600	3000
Fabrication B500	600		1200	600	600	1200	1800	1200
Charge engendrée par B120	43,5	22,5	43,5	22,5	22,5	22,5	22,5	1,5
Charge engendrée par B250	85,5	85,5	85,5	106,5	106,5	85,5	127,5	106,5
Charge engendrée par B500	22,5		43,5	22,5	22,5	43,5	64,5	43,5

ASS	1	2	3	4	5	6	7	8
Total de la charge	151,5	108	172,5	151,5	151,5	151,5	214,5	151,5
Capacité démontrée	189	189	189	189	189	189	189	189
Taux de charge en %	80,2	57,1	91,3	80,2	80,2	80,2	113,5	80,2

Figure 5.41 – Détail du calcul des charges

Une représentation visuelle des taux de charge permet de mieux illustrer le résultat de ce calcul. On détecte donc sur les postes d'assemblage une surcharge future en semaine 7.

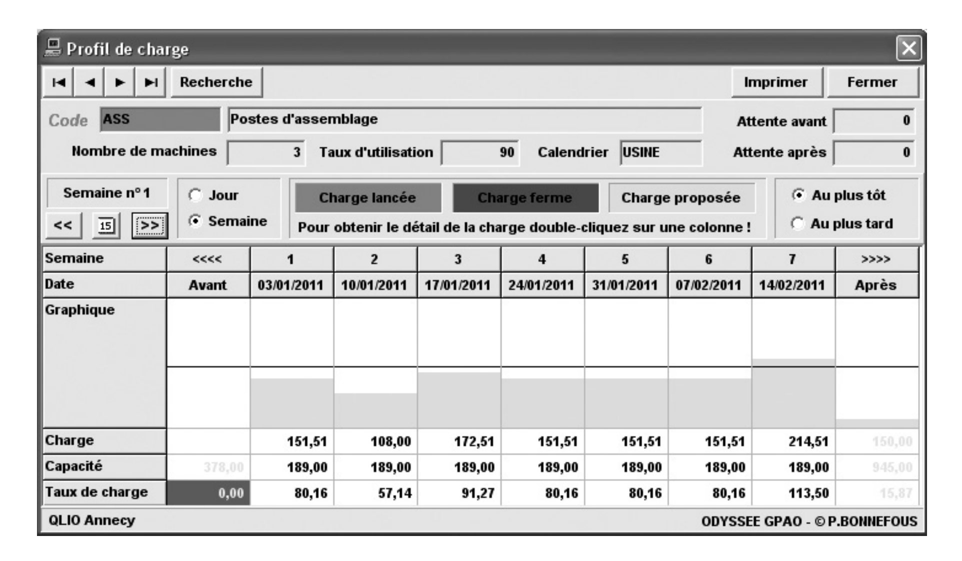


Figure 5.42 – Plan de charge de l'assemblage

3.5. Résolution de problème (surcharge sur l'assemblage)

Le profil de charge est une représentation très visuelle qui permet de mettre clairement en évidence les périodes de surcharge et de sous-charge. Il est alors aisé d'anticiper les problèmes et de prendre les mesures appropriées pour lisser la charge en respectant les dates de besoin. En cas de surcharge, deux solutions extrêmes consistent à augmenter la capacité ou à réduire la charge et toute solution intermédiaire est envisageable. Voici quelques actions sur la capacité :

- machine supplémentaire (il ne s'agit pas d'acheter une nouvelle machine mais d'associer aux machines surchargées une autre machine de l'atelier) ;

- heures supplémentaires ;
- transfert de personnel d'un autre atelier (si polyvalence il y a) ;
- équipe de week-end, sous-traitance…

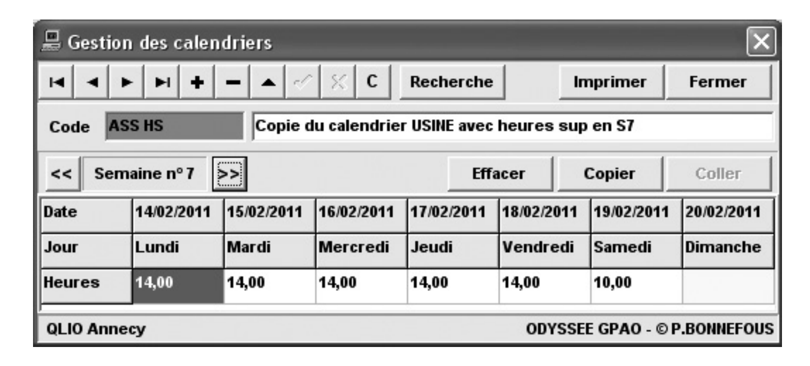
et quelques actions sur la charge :

- basculer un ou plusieurs articles sur des gammes de remplacement ;
- avancer certains ordres à l'aide d'ordres fermes (lissage) ;
- baisser des tailles de lot dans la semaine surchargée à l'aide d'ordres fermes (s'il existe une marge entre tailles de lot et besoins).

Remarquons que la solution industrielle à ces problèmes aura comme contraintes le service client et le respect de la date de besoin, d'une part, et des aspects économiques de coût, d'autre part.

Dans le cas de la surcharge des postes d'assemblage, une première solution possible serait de décider de faire des heures supplémentaires en semaine 7. La surcharge est de 25,5 heures mais comme les postes ne travaillent qu'à 90%, il faudra, en fait, effectuer 25,5/90% = 28,33 heures supplémentaires, soit environ 10 heures pour chaque poste, à placer le samedi car le reste de la semaine le travail est en deux équipes, avec des horaires qui ne favorisent pas les heures supplémentaires.

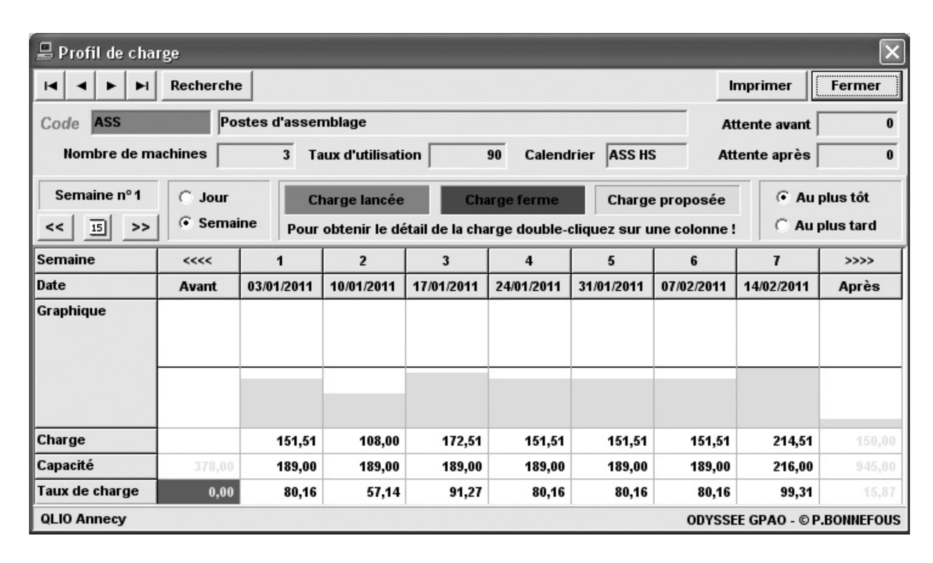
Les écrans ci-dessous montrent le nouveau calendrier qu'il faut associer aux postes d'assemblage, et le nouveau calcul des charges qui indique qu'il n'y a plus de surcharge.



Date	14/02/2011	15/02/2011	16/02/2011	17/02/2011	18/02/2011	19/02/2011	20/02/2011
Jour	Lundi	Mardi	Mercredi	Jeudi	Vendredi	Samedi	Dimanche
Heures	14,00	14,00	14,00	14,00	14,00	10,00	

Figure 5.43 – Calendrier avec heures supplémentaires le samedi

Une deuxième solution possible consisterait, soit à anticiper une production en semaine 6 pour baisser la charge de la semaine 7, soit à baisser la taille de lot d'un ordre en semaine 7. Ces solutions peuvent être mises en place grâce



Semaine	<<<<	1	2	3	4	5	6	7	>>>>
Date	Avant	03/01/2011	10/01/2011	17/01/2011	24/01/2011	31/01/2011	07/02/2011	14/02/2011	Après
Charge		151,51	108,00	172,51	151,51	151,51	151,51	214,51	150,00
Capacité	378,00	189,00	189,00	189,00	189,00	189,00	189,00	216,00	945,00
Taux de charge	0,00	80,16	57,14	91,27	80,16	80,16	80,16	99,31	15,87

Figure 5.44 – Plan de charge avec heures supplémentaires en semaine 7

à un ordre ferme judicieusement placé. Pour trouver une solution il faut étudier les tableaux de calcul des besoins des articles qui engendrent la surcharge (c'est-à-dire B120, B250 ou B500).

Nous allons essayer d'anticiper une production de la semaine 7 à la semaine 6 car, dans notre cas, on voit qu'il y a environ 20% de surcapacité en semaine 6 pour une surcharge de 13,5% en semaine 7.

		Taille de lot = x 600 Niveau = 1			Délai = 1s Unité = Pièce			Stock = 400		SS = 150	
B120		**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**
Besoins bruts		1200	1200	800	800	800	800	400	400		
Stock disponible	250	250	250	50	450	250	50	250	450	450	450
Ordres lancés (fin)		1200									
Ordres proposés (fin)			1200	600	1200	600	600	600	600		
Ordres proposés (déb)		1200	600	1200	600	600	600	600			

Figure 5.45 – Tableau de planification de B120

Le tableau de calcul des besoins de l'article B120 ci-dessus nous montre qu'il y a un lot de 600 B120 planifié au début de la semaine 7 et un autre de 600 planifié au début de la semaine 6.

Pour avancer de la charge nous allons créer un ordre ferme de 1200 B120 qui commencera en début de semaine 6 et qui se terminera en début de semaine 7.

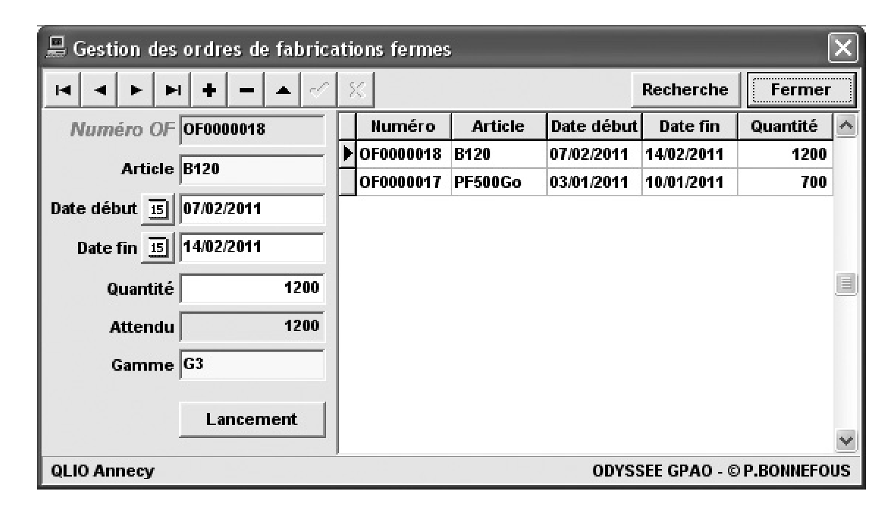


Figure 5.46 – Création d'un ordre ferme pour anticiper une production

Pour voir si cela solutionne le problème il faut relancer le calcul des besoins puis le calcul des charges détaillées.

		Taille de lot = x 600 Niveau = 1			Délai = 1s Unité = Pièce			Stock = 400		SS = 150	
B120		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Besoins bruts		1200	1200	800	800	800	800	400	400		
Stock disponible	250	250	250	50	450	250	50	850	450	450	450
Ordres lancés (fin)		1200									
Ordres proposés (fin)			1200	600	1200	600	600	1200F			
Ordres proposés (déb)		1200	600	1200	600	600	1200F				

Figure 5.47 – Calcul des besoins prenant en compte l'ordre ferme

On voit que le problème de surcharge n'est pas totalement supprimé. Le gestionnaire jugera si le secteur de l'assemblage s'auto-adaptera à la légère surcharge restante ou s'il doit trouver une solution complémentaire, comme de baisser une taille de lot sur un autre article par exemple.

Les heures supplémentaires étant coûteuses pour l'entreprise, le gestionnaire devra, bien sûr, d'abord chercher en priorité à lisser la production.

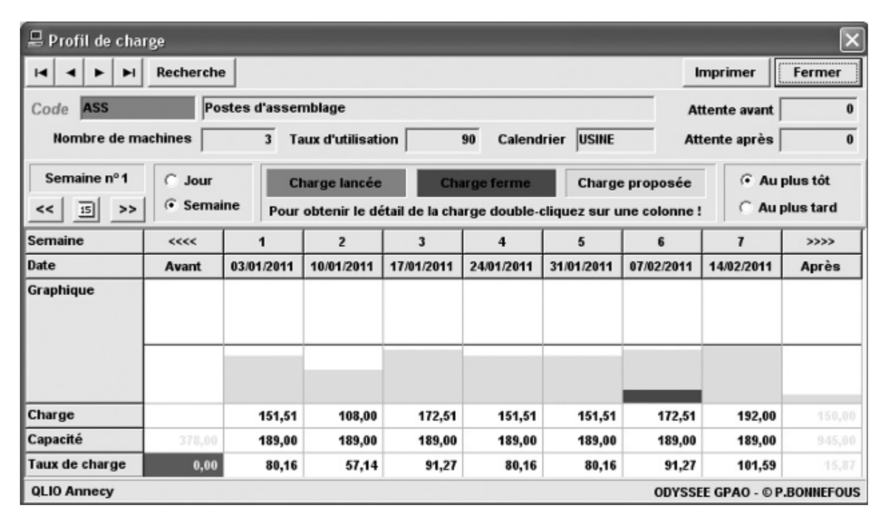


Figure 5.48 – Lissage de la charge par anticipation d'une production

4. Le programme directeur de production (PDP)

4.1. Introduction

Le programme directeur de production ne faisait pas partie de la méthode MRP initiale (proposé par J. Orlicky en 1965). Or, il se trouve que la méthode MRP initiale, réduite donc au seul calcul des besoins (appelée aujourd'hui MRP0), ne donne pas entière satisfaction. Les incertitudes ou aléas entraînent beaucoup de variabilité d'un calcul des besoins à l'autre, et engendrent beaucoup de modifications dans les plannings de production et d'approvisionnement. Ces modifications de planning conduisent à une baisse de la performance, de la productivité et, au final, à une baisse du taux de service client.

Pour améliorer la stabilité du processus de planification, deux mécanismes principaux ont donc été ajoutés dans la gestion des produits finis :

- la mise en place d'une zone de gestion ferme dans le processus de planification ;
- la mise en place du disponible à vendre, un indicateur à destination des commerciaux qui permettra de mieux gérer les prises de commande en fonction des programmes de production de produits finis.

Ces changements vont permettre de maîtriser (et stabiliser) la planification des produits finis, ce qui va entraîner une amélioration de la planification de l'ensemble des articles présents dans les nomenclatures. De façon à marquer l'évolution de la méthode, le processus de planification des produits finis va s'appeler désormais « Programme Directeur de Production ».

4.2. La zone ferme

Pour comprendre la nécessité d'une zone ferme, nous allons prendre l'exemple d'un ordre proposé de fabrication de 800 produits finis PF120Go qui serait planifié pour commencer en semaine 4 et se terminer donc en semaine 5.

PF120Go	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ordres proposés (fin)					800					
Ordres proposés (déb)				800						

Figure 5.49 – Un ordre proposé de PF120Go

Cet ordre de fabrication semble encore lointain, puisqu'il ne commencera que dans 3 semaines. Et pourtant, si l'on regarde le planning ci-dessous, on s'aperçoit que pour cette fabrication future de produits finis PF120Go, les disques durs, les cartes électroniques et la matière plastique ont déjà été commandés, et que l'on s'apprête très prochainement à commander les écrans tactiles.

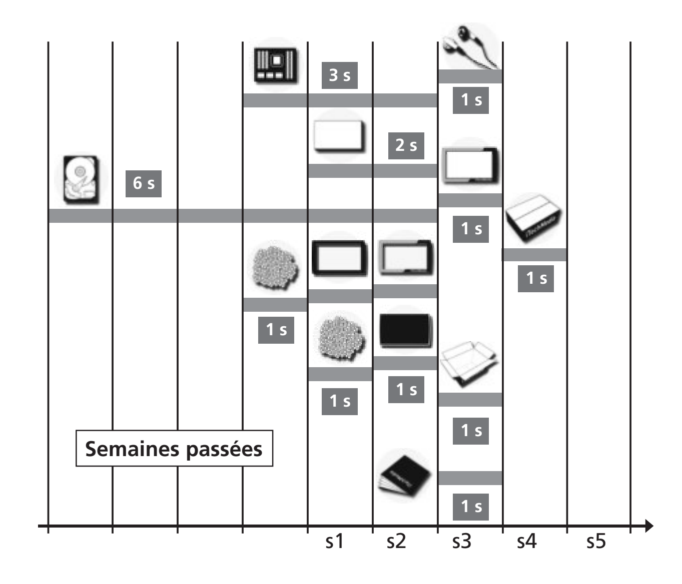


Figure 5.50 – Planning général concernant un lot de PF120Go

Grâce à ce schéma, on comprend bien pourquoi il est difficile de modifier un ordre proposé de produits finis, en tout cas dans un horizon égal au délai cumulé du produit fini. Si, dans cette zone du planning, égale au délai cumulé, on laisse le logiciel, automatiquement, augmenter la taille d'un lot ou

avancer un lot, en fonction d'un changement du besoin commercial, alors les stocks de composants (disques durs, cartes électroniques, matière plastique, etc.) vont subir des ruptures, impactant la production, et finalement rendant impossible la fabrication des produits finis.

C'est pour cette raison que l'on va fixer dans le planning d'un produit fini, une zone ferme. De façon logique, cette zone ferme doit être égale au délai cumulé du produit fini. Voilà pourquoi l'horizon de planification d'un produit fini est fixé à 2 fois le délai cumulé. La première moitié du planning sera ferme (ou gelée) et l'autre moitié sera libre, c'est-à-dire que dans cette zone, le logiciel pourra planifier automatiquement les ordres en fonction des besoins commerciaux.

Dans le cas particulier des baladeurs **iTechMedia**, le délai cumulé est de 8 semaines, et cela en grande partie à cause d'un composant à long délai (disques durs). Sans ces disques durs, le délai cumulé serait de 5 semaines seulement. Or, figer le planning sur 5 semaines ou sur 8, n'est pas équivalent. Moins on figera le planning et meilleure sera la réactivité de l'entreprise face à des modifications du marché. Dans le cas de l'entreprise **iTechMedia**, il a été décidé de fixer la zone ferme à 5 semaines seulement, et de mettre en place un stock de sécurité important au niveau des disques durs (5000). On remarquera que si l'on pouvait trouver un fournisseur de disques durs plus proche, on n'aurait pas besoin de constituer ce stock de sécurité important.

4.2.1. Exemple

Voici ci-dessous le tableau de planification du produit fini PF120Go avec une zone ferme de 5 semaines.

		Taille de lot = x 400			Délai = 1s			Stock = 400		SS = 300	
		Niveau = 0			Unité = Pièce			Zone ferme = 5s			
PF500Go		**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**
Prévisions restantes		70	180	250	380	600	750	950	1200	1400	1500
Commandes fermes		180	120	80	20						
Stock disponible	100	-150	350	20	20	220	270	120	120	320	20
PDP (fin)			800F		400F	800F	800	800	1200	1600	1200
PDP (déb)		800F		400F	800F	800	800	1200	1600	1200	

Messages : utilisation du stock de sécurité en S1 ; lancer un OF de 800 PF500Go pour la semaine 2 ; affermir l'ordre proposé de la semaine 6.

Figure 5.51 – Tableau du PDP de PF500Go

Plusieurs changements doivent être expliqués :

- les deux lignes du bas changent de nom (PDP) : le programme directeur de production est, en fait, un tableau échéancé de tous les produits finis qui vont être réalisés par l'entreprise ;
- la ligne « Ordres lancés » a disparu, et les ordres lancés éventuels sont inscrits maintenant dans la ligne PDP (fin) avec un L pour marquer la différence ;
- la zone ferme est dessinée dans le PDP (5 semaines figées pour la ligne PDP (fin) et 4 seulement pour la ligne PDP (début) car le délai est d'une semaine pour ce produit fini) ;
- dans la zone ferme, il n'y a que des ordres fermes (ordres affermis par le gestionnaire) : voilà un bon gage de stabilité !

En termes de calcul, dans la zone ferme, le logiciel ne fait que calculer le stock de fin de semaine car il n'a pas le droit de placer ou déplacer des ordres dans cette zone. Dans la zone libre, le logiciel fait un calcul de besoins nets classique et propose des ordres automatiquement. Si un ordre proposé se trouve juste derrière la zone ferme, un nouveau message apparaît pour signaler au gestionnaire qu'il ne faut pas oublier de l'affermir, car plus tard le logiciel ne pourra plus placer cet ordre à cause de la zone ferme (on peut imaginer une automatisation de cet affermissement).

Seul le gestionnaire peut modifier des ordres dans la zone ferme, mais cette zone ferme ayant été mise en place pour stabiliser le programme de production des produits finis, il faut que le gestionnaire n'intervienne pas trop souvent. Des règles de gestion de la zone ferme doivent être mises en place pour encadrer les modifications afin de donner un peu de souplesse, tout en gardant l'avantage de la stabilité.

Remarque : figer, avec une zone ferme, le programme de production des produits finis est avantageux pour la stabilité des plans de production, mais peut aussi être un inconvénient car la réactivité de l'entreprise peut s'en trouver diminuée. En réalité, ce qui diminue la réactivité de l'entreprise, ce n'est pas la zone ferme mais les différents délais d'approvisionnement ou de production qui constituent le délai cumulé du produit fini. Pour gagner en réactivité, il faut donc travailler à la réduction des délais impactant le délai cumulé et, ensuite, on pourra diminuer la zone ferme. En conclusion, pour être réactif, il faut des délais courts (voir chapitre 11 : L'entreprise en mouvement avec le *Lean*).

4.3. Le disponible à vendre (DAV)

Qu'est-ce qui pourrait pousser les gestionnaires à modifier les quantités planifiées dans la zone ferme : c'est, finalement, si l'on venait à vendre plus que prévu. Là, on touche du doigt une vraie difficulté dans la gestion industrielle : on demande des prévisions de ventes aux commerciaux, on met en place des stocks de sécurité car on sait bien que les prévisions vont être fausses, on bâtit un programme de fabrication en conséquence, mais si, finalement, ces mêmes commerciaux se mettent à vendre beaucoup plus que prévu, alors c'est la catastrophe : désorganisation dans les ateliers, ruptures de stocks de sous-ensembles et de composants…

Il faut donc donner une limite aux quantités que l'on peut vendre. Il ne s'agit pas, bien sûr, de limiter dans l'absolu les ventes des commerciaux, mais bien d'indiquer, qu'en fonction des prévisions de ventes qu'ils ont effectuées, l'usine a planifié des productions et que celles-ci limitent ensuite les ventes. On pourra remarquer que cette réflexion conduit nécessairement à ce que cela soit les commerciaux qui fassent les prévisions de ventes.

4.3.1. Calcul du disponible à vendre

Nous allons donc ajouter dans le tableau de planification une ligne qui correspondra au disponible à vendre : c'est-à-dire aux quantités que l'on peut encore vendre, sans avoir besoin de bouleverser le programme de fabrication déjà établi (le PDP Fin). Les produits finis que l'on va pouvoir livrer aux clients sont, d'une part, ceux qui sont en stock (400 dans notre exemple) et, d'autre part, ceux que l'on va fabriquer (ligne « PDP Fin »). Pour le disponible à vendre, il faut tenir compte des commandes clients déjà enregistrées (ligne « Commandes fermes »).

		Taille de lot = x 400			Délai = 1s			Stock = 400		SS = 300	
		Niveau = 0			Unité = Pièce			Zone ferme = 5s			
PF500Go		**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**
Prévisions restantes		70	180	250	380	600	750	950	1 200	1 400	1 500
Commandes fermes		180	120	80	20						
Stock disponible	100	-150	350	20	20	220	270	120	120	320	20
PDP (fin)			800F		400F	800F	800	800	1 200	1 600	1 200
PDP (déb)		800F		400F	800F	800	800	1 200	1 600	1 200	
Disponible à vendre		220	600		380	800					

Messages : utilisation du stock de sécurité en S1 ; lancer un OF de 800 PF500Go pour la semaine 2 ; affermir l'ordre proposé de la semaine 6.

Figure 5.52 – Tableau du PDP de PF500Go avec disponible à vendre

Disponible à vendre de la semaine 1 : on a en stock 400 PF500Go, et il n'y a pas d'ordre lancé pour la semaine 1. Comme 180 PF500Go ont déjà été commandés, le disponible à vendre en semaine 1 est de 400 – 180 = 220.

Disponible à vendre de la semaine 2 : un ordre de fabrication de 800 PF500Go se terminera en semaine 2, et il n'y aura pas d'autres ordres proposés avant la semaine 4. L'ordre de la semaine 2 devra donc permettre de livrer les commandes de la semaine 2 et 3. Le disponible à vendre de la semaine 2 est de 800 – 120 – 80 = 600. Il s'agit de quantités que l'on peut vendre en plus des 220 PF500Go de la semaine 1, mais seulement à partir de la semaine 2.

Disponible à vendre de la semaine 4 : un ordre de fabrication de 400 PF500Go se terminera en semaine 4, et il y a un autre ordre proposé en semaine 5. L'ordre de la semaine 4 devra donc permettre de livrer les commandes de la semaine 4. Le disponible à vendre de la semaine 4 est de 400 – 20 = 380.

Disponible à vendre de la semaine 5 : un ordre de fabrication de 800 PF500Go se terminera en semaine 5, et il n'y a aucune commande en semaine 5. Le disponible à vendre de la semaine 5 est donc de 800 – 0 = 800.

Il ne sert à rien de calculer le disponible à vendre pour les périodes qui sont en dehors de la zone ferme, car si les commerciaux vendent plus que prévu dans la zone libre, cela ne posera pas de problème particulier car, justement, c'est après la zone ferme. Le calcul des besoins planifiera des productions supplémentaires, et donc des approvisionnements supplémentaires. Seuls peuvent se poser des problèmes de surcharge, mais ceux-ci pourront être analysés et traités avec des mesures d'augmentation de la capacité (voir le calcul des charges détaillées).

		Taille de lot = x 400			Délai = 1s			Stock = 300		SS = 100	
		Niveau = 0			Unité = Pièce			Zone ferme = 5s			
PF120Go		**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**
Prévisions restantes		100	200	550	800	800	800	700	400	400	300
Commandes fermes		1400	1100	550	100						
Stock disponible	200	300	200	300	200	200	200	300	300	300	0
PDP (fin)		1600L	1200F	1200F	800F	800F	800	800	400	400	
PDP (déb)		1200F	1200F	800F	800F	800	800	400	400		
Disponible à vendre		500	100	650	700	800					

Messages : lancer un OF de 1200 PF120Go pour la semaine 2 ; affermir l'ordre proposé de la semaine 6.

Figure 5.53 – Tableau du PDP de PF120Go avec disponible à vendre

		Taille de lot = x 400			Délai = 1s			Stock = 100		SS = 250	
		Niveau = 0			Unité = Pièce			Zone ferme = 5s			
PF250Go		**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**
Prévisions restantes		200	600	1200	1900	2400	2700	2800	2900	3100	3200
Commandes fermes		1700	1500	1000	500	100					
Stock disponible	-100	0	-100	100	100	0	100	100	0	100	100
PDP (fin)		2000L	2000F	2400F	2400F	2400F	2800	2800	2800	3200	3200
PDP (déb)		2000F	2400F	2400F	2400F	2800	2800	2800	3200	3200	
Disponible à vendre		400	500	1400	1900	2300					

Messages : utilisation du stock de sécurité en semaine 2 ; lancer un OF de 2000 PF250Go pour la semaine 2 ; affermir l'ordre proposé de la semaine 6.

Figure 5.54 – Tableau du PDP de PF250Go avec disponible à vendre

4.3.2. Utilisation du disponible à vendre

Pour comprendre comment s'utilise le disponible à vendre, imaginons qu'un client appelle notre service administration des ventes (ADV) et qu'il souhaite commander 250 baladeurs PF500Go avec une date de livraison la plus rapide possible. S'il n'y avait pas de ligne « Disponible à vendre », il y a fort à parier que l'on va annoncer à ce client un délai que l'on ne saura pas tenir. Avec le calcul du disponible à vendre (voir figure 5.52) nous constatons qu'en semaine 1 nous ne pouvons promettre que 220 PF500Go (ceci comprenant le stock de sécurité), et que nous pouvons promettre 600 PF500Go en plus à partir de la semaine 2. Il faut donc informer tout de suite le client que sa commande ne pourra pas être livrée en totalité en semaine 1, et que l'on peut lui proposer finalement deux possibilités :

- une livraison de la totalité en semaine 2 ;
- une livraison partielle en semaine 1 de 125 baladeurs et le reste en semaine 2 (de cette façon on ne vendra pas le stock de sécurité) ;

Avec cette information donnée juste avant la prise de commande, le client choisira une solution qui lui convient, et l'administration des ventes ne déstabilisera pas la production par de nouvelles commandes incompatibles avec les programmes de production…

		Taille de lot = x 400			Délai = 1s			Stock = 400		SS = 300	
		Niveau = 0			Unité = Pièce			Zone ferme = 5s			
PF500Go		**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**
Prévisions restantes		0	0	250	380	600	750	950	1 200	1 400	1 500
Commandes fermes		305	245	80	20						
Stock disponible	100	-205	350	20	20	220	270	120	120	320	20
PDP (fin)			800F		400F	800F	800	800	1 200	1 600	1 200
PDP (déb)		800F		400F	800F	800	800	1 200	1 600	1 200	
Disponible à vendre		95	475		380	800					

Messages : utilisation du stock de sécurité en S1 ; lancer un OF de 800 PF500Go pour la semaine 2 ; affermir l'ordre proposé de la semaine 6.

Figure 5.55 – Tableau du PDP de PF500Go après ajout de la nouvelle commande de 250 (125 en S1 + 125 en S2)

4.4. La mesure des performances du PDP

Le calcul du disponible à vendre suppose que l'on va disposer des quantités de produits finis planifiées le moment venu pour livrer les clients. Il importe donc que les ordres mis au PDP fournissent, à la date attendue, les quantités prévues. Des indicateurs simples mis en place permettront de suivre cette réalisation et d'en déduire le réalisme de la planification à moyen terme et, en cas de problème, d'en chercher les causes afin d'y remédier.

On comprendra que la qualité du service client dépendra de la capacité de l'entreprise à produire, à la bonne heure et avec la bonne quantité, ce qui est programmé dans le PDP.

4.5. Conclusion sur le PDP

Le programme directeur de production est un module essentiel, indispensable, pour la planification de la production d'une entreprise : c'est grâce à ce module informatique que l'on va pouvoir stabiliser la planification de l'ensemble des productions et des approvisionnements (grâce à la zone ferme et au disponible à vendre). Sans PDP, le processus de planification consiste finalement à faire un calcul des besoins sur tous les niveaux de nomenclatures, avec de fortes instabilités, et la gestion de la production et des approvisionnements n'est pas performante.

5. Les bonnes pratiques

5.1. Maîtrise des stocks et des délais

Comme on l'aura compris, tous les calculs effectués dans le cadre de la planification détaillée reposent au départ sur des valeurs de stocks. Si l'on ne maîtrise pas ces valeurs de stocks, alors il devient difficile de gérer les approvisionnements et les fabrications avec la méthode MRP, car les ruptures seront nombreuses (voir chapitre 3 : Gestion des stocks).

De la même façon, si l'on ne maîtrise pas les délais d'approvisionnement ou les délais de production alors, MRP planifiant au plus tard, là aussi, les ruptures seront nombreuses. Certains en viendraient même à mettre en cause la méthode MRP !

En conséquence, une utilisation performante de la méthode MRP nécessite :

- une exigence de respect des délais pour les fournisseurs : cela doit faire partie du cahier des charges, et cela doit être évalué fréquemment avec un plan d'action en cas de dérive ou alors changement de fournisseur ;
- une exigence de respect des délais en production : c'est moins facile qu'avec les fournisseurs. Il faut vérifier avec les calculs de charge que les ateliers ont la capacité de faire et ne donner aucune excuse pour les retards : certaines entreprises mettent en concurrence leurs propres ateliers avec des entreprises sous-traitantes pour améliorer leur performance ;
- une grande rigueur dans la gestion des stocks : cela passe fréquemment par l'isolement des stocks, dans des magasins fermés, avec des magasiniers qui auront la charge de la gestion physique et informatique de ceux-ci. Si on laisse tout le monde se servir, alors c'est bien souvent la catastrophe, car une fois sur deux, les déclarations ne seront pas faites…

En conclusion, l'utilisation de la méthode MRP demande une très grande rigueur ! Le fait que la méthode MRP soit informatisée n'est pas une garantie de performance. Ce sont les hommes et l'utilisation qu'ils feront de la méthode qui donneront, au final, une gestion de production performante ou pas.

5.2. Lancements en fabrication et sorties de stock

Dans les outils informatiques de gestion de production (GPAO ou ERP), il existe un mécanisme standard de réservation des stocks de composants lorsque l'on lance un ordre de fabrication d'un composé. Le nombre de composants réservé est déduit *via* la nomenclature du nombre de composés lancés.

Le mécanisme standard est le suivant :

- sur suggestion du calcul des besoins (message), vérification par le gestionnaire de la disponibilité des composants, puis lancement de l'OF ;
- les composants sont alors réservés (changement de statut informatique), ce qui empêche leur utilisation pour un autre produit. À ce stade, les composants sont toujours physiquement dans le magasin ;
- plus tard, les composants seront sortis physiquement du magasin, et seront déclarés consommés informatiquement *via* une sortie de stock informatique (transaction) effectuée par le magasinier. Le stock informatique est donc mis à jour en temps réel.

Le stock informatique est donc toujours à jour (limitation des erreurs de stock), mais ceci engendre de nombreuses transactions, surtout pour les entreprises qui ont de nombreux composants et des délais courts.

Cela peut devenir lourd à gérer, et dans certains cas, on peut utiliser la prédéduction (ou préconsommation) ou la post-déduction (ou post-consommation ou encore *back flushing*). Il s'agit d'automatiser les déclarations de sortie des composants en utilisant d'autres transactions (lancement de l'OF pour la prédéduction ou fin de l'OF pour la post-consommation). On peut aussi utiliser les déclarations de production effectuées par les opérateurs ou les agents de maîtrise pour post-déduire les composants utilisés lors des différentes opérations de production.

Ces techniques suppriment donc beaucoup de déclarations manuelles de sortie de stock effectuées par les magasiniers. En revanche, comme les déclarations automatiques se font soit en avance, soit en retard par rapport à la sortie physique des composants, cela ne rend pas facile les inventaires…

Ces techniques permettent de mettre en place un stock atelier ou stock bord de ligne en libre-service qui sera alimenté grâce à un stock central ou stock de masse. Les opérateurs puiseront, sans déclarer les composants, dans ces stocks libre-service et ces stocks seront mis à jour automatiquement par le biais de la post-consommation. Compte tenu des erreurs de stocks qui seront fréquentes, on réservera ce système aux pièces de la classe C (voir chapitre 3 : Gestion des stocks).

5.3. Ne pas prendre qu'une partie de la méthode

On voit trop souvent des entreprises choisir un logiciel (GPAO ou ERP) et, finalement, par manque de moyens et/ou de volonté, voire de connaissance en gestion industrielle, ne mettre en place que certains modules. La pire

situation qu'il nous ait été donné de voir est celle d'une entreprise qui avait investi dans une GPAO et qui n'utilisait celle-ci que pour imprimer des étiquettes GALIA pour les cartons d'expédition ! Mais au-delà de ce cas extrême, il y a beaucoup d'entreprises qui utilisent leur GPAO *a minima*, ne profitant pas des bénéfices de l'utilisation d'un tel outil. En voici trois exemples :

- utilisation d'un calcul des besoins, mais sans prévision de ventes : situation courante où l'on n'entre dans l'outil que les commandes reçues. Cette situation peut être valable si le délai annoncé au client dépasse le délai cumulé du produit fini (approvisionnements + fabrication + assemblage), ou alors si l'on considère que l'on gère les matières premières et composants par des méthodes traditionnelles comme le point de commande. Quoi qu'il en soit, c'est dommage de ne pas profiter des informations prévisionnelles pour gérer mieux les approvisionnements et pour gérer tout court les capacités…
- utilisation du calcul des besoins mais pas d'un vrai PDP (avec zone ferme et disponible à vendre) parce que le progiciel ne le propose pas ou parce qu'on n'utilise pas ou ne connaît pas cette fonctionnalité. On se retrouve donc avec une planification MRP0 (comme en 1965) avec de fortes instabilités, et la gestion de la production et des approvisionnements ne peut pas être performante ;
- utilisation du calcul des besoins mais pas du calcul des charges : souvent parce que les gammes ne sont pas à jour (notamment les temps gammes) et que l'on considère sans doute qu'il est trop « coûteux » de les renseigner correctement. La conséquence est que l'on se prive de toute vision sur la charge future, et donc de toute mesure prévisionnelle qui permettrait d'éviter les surcharges (et aussi les sous-charges).

En conclusion, pour gérer correctement la production d'une entreprise, il faut d'abord former ou recruter des gestionnaires qui maîtriseront la gestion industrielle, puis choisir un logiciel et mettre en place tous les modules que l'on jugera nécessaires. On pourra se faire aider par un consultant (si possible non lié à un progiciel particulier) mais, en aucun cas, ce consultant ne devra être le seul à avoir des connaissances en gestion industrielle.

6. Conclusion

Pour conclure, voici le schéma qui présente tous les modules de la planification détaillée :

- le PDP pour planifier la fabrication des produits finis en s'appuyant sur des prévisions de ventes et des commandes clients (gestion de la demande) ;

- le CBN pour planifier les fabrications ou les approvisionnements de tous les composants et matières premières ;
- le CCD pour transformer les plannings de production en plan de charges.

Tous ces modules s'appuient sur des données techniques et permettent de diriger les modules d'exécution : gestion des approvisionnements et pilotage des activités de production.

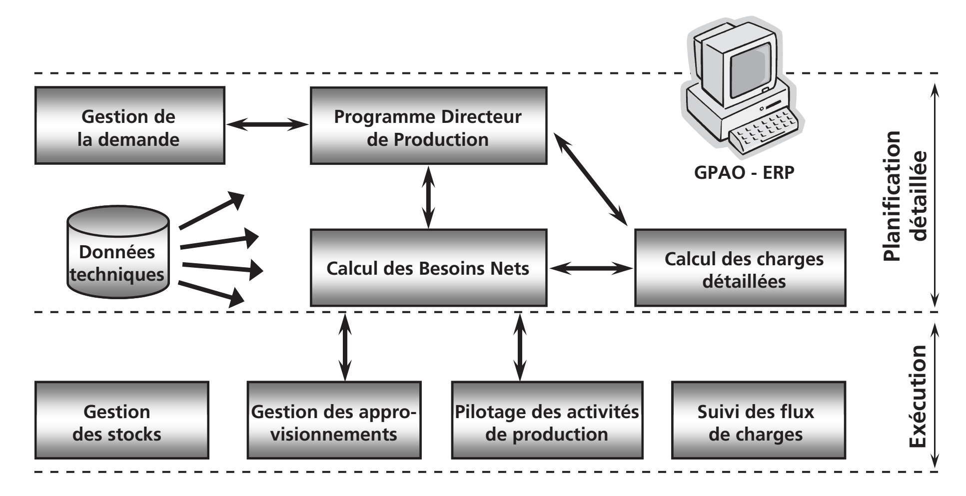


Figure 5.56 – Schéma de la planification détaillée

En anglais, le calcul des besoins nets (CBN) se nomme *Material Requirement Planning* (MRP), le programme directeur de production (PDP) se nomme *Master Production Schedule* (MPS), le calcul des charges détaillées (CCD) se nomme *Capacity Requirement Planning* (CRP) et le disponible à vendre (DAV) se nomme *Available to Promise* (ATP).

Tous ces éléments de la planification détaillée forment un des socles de la gestion industrielle. C'est ce maillon qui permet un lissage des charges à tous les niveaux de la production. Les approches du *Lean Manufacturing* pourraient faire croire notamment que le calcul des besoins est désormais inutile mais, bien au contraire, il demeure fondamental. Le lissage de la charge *via* la planification détaillée, est une des fondations du *Lean Manufacturing*. Nous reviendrons dessus au chapitre 11.

Remarque : pour les utilisateurs de la GPAO pédagogique Odyssée, le cas **iTechMedia** peut être téléchargé à l'adresse suivante :
http://www.ogp.univ-savoie.fr/ogpat/zip/casitechmedia.zip

Chapitre 6

Pilotage des activités de production

1. Introduction

Nous appellerons pilotage des activités de production (PAP), l'activité destinée à piloter l'exécution qui a été planifiée dans la partie supérieure de MRP (voir chapitre 5 : Planification détaillée). Le mot pilotage est choisi volontairement pour souligner l'interactivité, par opposition au mot traditionnel de suivi de production qui semble ne représenter qu'une course après la réalité sans souhait d'intervenir !

Le PAP cherche à optimiser la relation entre les hommes, les machines, les stocks et les mouvements physiques (des matières premières aux produits finis) pour contrôler les priorités, améliorer l'efficacité (productivité), minimiser les stocks, diminuer les en-cours et exécuter le PDP, et donc améliorer le service client.

L'horizon du pilotage des activités de production est court : en général quelques jours.

Nous verrons, dans un premier temps, la gestion d'atelier traditionnelle, que l'on appelle aussi ordonnancement. Dans un deuxième temps, nous aborderons la gestion d'atelier par les contraintes.

2. Gestion d'atelier traditionnelle

2.1. Introduction

La planification détaillée (PDP et CBN) validée par le calcul des charges détaillées a conduit à des ordres proposés. Le gestionnaire va maintenant devoir en lancer l'exécution, c'est-à-dire les transmettre à l'atelier pour réalisation. Le but de l'ordonnancement d'atelier est d'aider celui-ci à livrer les bons ordres de fabrication à la bonne date, et notamment agir pour rendre disponible la capacité nécessaire.

Nous allons, dans cette activité, passer de la planification, à l'évolution des produits dans l'entreprise, jusqu'à la sortie des produits de l'atelier vers le magasin de stockage des « produits finis ». Parallèlement à cette évolution physique des produits, les ordres de fabrication (OF) vont évoluer par les états : ordre proposé, ordre lancé (ou ouvert, ou en cours), jusqu'à l'état ordre fermé (ou ordre clos).

Les ressources pilotées sont : le personnel (heures supplémentaires, transferts entre centres de charges, emploi à temps partiel, multiples équipes…), l'outillage (équipements et appareils spéciaux pour préparer et exécuter les opérations), les machines (capacités disponibles pour absorber la charge) et les matériaux (stocks pour réaliser les OF).

2.2. Activités à l'exécution

Le PAP recouvre cinq activités principales à l'exécution.

2.2.1. Vérification et lancement

Ce sont les activités à mener avant de lancer l'ordre au niveau de l'atelier :

- vérification de la disponibilité des composants et matières premières nécessaires ;
- vérification de la disponibilité de la capacité et répartition de la charge ;
- impression des documents de l'ordre pour sa réalisation et son suivi (liste à servir, fiche suiveuse, etc.).

2.2.2. Programmation détaillée

La programmation détaillée ou ordonnancement donne le séquencement des ordres (liste de lancement et allocation des ressources), la disponibilité des ressources (avec notamment les maintenances programmées) et toutes autres affectations influant sur l'atelier (arrêts programmés, transferts de main-

d'œuvre…). Le point de départ du calcul est la date de début des OF ou la date de fin des OF. Il prend en compte des informations issues des données techniques : gammes (temps de changement de série et temps d'exécution) et centres de charge (horaires d'ouverture, nombre de machines, temps de transit entre centres).

Une liste de priorités est une liste donnant la séquence des ordres à exécuter. Elle est fondée sur une règle de priorité. Le tableau 6.1 donne quelques règles simples, bien connues.

On remarquera que certaines ne font pas référence à une date de fin et que chacune avantage certains OF aux dépens des autres. Le tableau 6.2 donne un exemple d'utilisation de ces règles.

Règle	Explication
Date de fin la plus proche	Date fin – Date actuelle
FIFO (*First In First Out*)	Priorité dans l'ordre d'arrivée des OF
LIFO (*Last In First Out*)	Priorité aux OF arrivés en dernier
Plus court temps d'exécution	Temps d'exécution minimal
Marge minimale	(Temps restant – Temps opératoires restants) minimal
Marge moyenne par opération minimale	(Marge/Nombre d'opérations) minimale
Ratio critique	(Temps restant/Travail restant) minimal

Figure 6.1 – Quelques règles de priorité des OF

Soulignons immédiatement qu'une règle de priorité doit être simple et facile à interpréter, et surtout qu'elle n'est pas un substitut à la répartition des charges. Une surcharge de planification d'un atelier n'est en aucun cas soluble par des priorités ! Il est évidemment essentiel, avant de faire de l'ordonnancement, de faire un calcul des charges détaillées pour vérifier que la capacité sera suffisante vis-à-vis de la charge planifiée engendrée par tous les OF issus du calcul des besoins (voir chapitre 5 : Planification détaillée).

Exemple d'utilisation des règles de priorité

Nous sommes le jour 50 au matin devant le poste T907, et on dispose des informations indiquées ci-dessous. Quelle sera la séquence de passage sur le poste si l'on suit les règles de priorité :

1. FIFO ;

2. date de fin la plus proche ;

3. plus court temps d'exécution ;

4. ratio critique ?

N° OF	Jour d'arrivée	Temps d'exécution (h)	Date de fin	Travail restant (j)
101	42 matin	5	55 soir	4
127	45 matin	3	52 soir	3
243	44 matin	2	50 soir	2
204	49 matin	4	51 soir	3
125	50 matin	1	54 soir	2

Réponses

1. 101 - 243 - 127 - 204 - 125

2. 243 - 204 - 127 - 125 - 101

3. 125 - 243 - 127 - 204 - 101

4. Calcul des ratios critiques

N° OF	Temps restant	Travail restant	Ratio critique
101	55 – 50 + 1 = 6	4	1,5
127	52 – 50 + 1 = 3	3	1,0
243	50 – 50 + 1 = 1	2	0,5
204	51 – 50 + 1 = 2	3	0,7
125	54 – 50 + 1 = 5	2	2,5

donc liste de priorité : 243 - 204 - 127 - 101 - 125

On remarquera que l'OF 243, le plus prioritaire, ne sera pas terminé à la date de fin prévue puisque le travail restant est supérieur au temps restant.

Figure 6.2 – Exemple d'utilisation des règles de priorité

Il existe deux types d'ordonnancement en fonction de la technique de placement :

- ordonnancement au plus tôt : tous les OF sont placés en partant des premières phases et en commençant par la date de début de l'OF ou si elle est antérieure, en partant de la date actuelle ;
- ordonnancement au plus tard : tous les OF sont placés en partant des dernières phases et en remontant le temps à partir de la date de fin de l'OF.

Souvent, il est plus prudent d'utiliser l'ordonnancement au plus tôt (fondé sur les dates de début des OF) pour dégager des marges de sécurité face aux aléas de production, sachant que la planification détaillée a déterminé les dates des OF (début et fin) en planifiant au plus tard mais en prenant de la

marge dans le délai (voir chapitre 2 : Données techniques et chapitre 5 : Planification détaillée).

Par ailleurs, deux grandes techniques permettent de créer des plannings de production :

- l'ordonnancement ordre par ordre : technique simple qui consiste à prendre les ordres un par un, suivant la liste de priorité choisie, et pour chaque ordre à placer d'un coup toutes les opérations dans les « trous » du planning ;
- l'ordonnancement opération par opération : plus complexe mais aussi plus performant, consiste à raisonner directement sur les opérations (en analysant les files d'attente). C'est lorsqu'il y a deux opérations qui doivent passer sur une même machine que l'on applique la règle de priorité. Certains logiciels d'ordonnancement ne permettent pas de mettre en œuvre cette technique.

Des techniques permettent, si nécessaire, de réduire le délai de réalisation d'un OF au cas où celui-ci ne peut pas être réalisé dans le délai (date de fin – date de début).

<table>
<tr><th></th><th>Opérations</th><th>1</th><th>2</th><th>3</th><th>4</th><th>5</th><th>6</th><th>7</th><th>8</th><th>9</th><th>10</th><th>11</th><th>12</th></tr>
<tr><td rowspan="3">OF normal</td><td>1</td><td colspan="6">OF</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>2</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td colspan="2">OF</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>3</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td colspan="4">OF</td></tr>
<tr><td rowspan="3">Éclatement de l'OF en 2 ordres OF1 et OF2</td><td>1</td><td colspan="3">OF1</td><td colspan="3">OF2</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>2</td><td></td><td></td><td></td><td>OF1</td><td></td><td></td><td>OF2</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>3</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td colspan="2">OF1</td><td></td><td colspan="2">OF2</td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td rowspan="4">Éclatement d'une opération (si l'on a plusieurs machines pour l'opération 1)</td><td>1</td><td colspan="3">OF</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>1</td><td colspan="3">OF</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>2</td><td></td><td></td><td></td><td colspan="2">OF</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>3</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td colspan="4">OF</td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td rowspan="3">Chevauchement d'une ou plusieurs opérations</td><td>1</td><td colspan="6">OF</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>2</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td colspan="2">OF</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>3</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td colspan="4">OF</td><td></td><td></td></tr>
</table>

Figure 6.3 – Techniques de réduction des délais

L'éclatement d'OF consiste à remplacer un OF important par deux OF plus petits et à ordonnancer séparément chacun des petits OF. L'éclatement d'une

opération consiste à répartir une opération sur deux moyens de production identiques en parallèle, de façon à diviser par deux le temps d'exécution (attention : les temps de préparation ou de réglage ne sont pas divisés par deux). Le chevauchement consiste à programmer le début d'une opération avant que l'opération précédente ne soit terminée.

Exemple d'ordonnancement

Nous allons considérer ici 4 OF à ordonnancer sur un horizon de 1 semaine (5 jours de 7 heures à partir du lundi 21 juin). L'atelier dispose de 5 machines notées M1 à M5. Le temps de transport entre opérations a été estimé en moyenne à 1 heure. TU (temps unitaire), TP (temps de préparation) et durée sont en heures. Nous sommes le 21 juin à 8 heures du matin.

Voici les informations concernant les OF :

OF1

Article A Taille de lot = 100 — Date de début : 18 juin matin

Gamme — Date de fin : 22 juin au soir

Phase	Poste	TU	TP	Statut	Durée
10	M1	0,01	1	terminée	
20	M4	0,03	3	terminée	
30	M3	0,01	2		3
40	M2	0,03	1		4
				Total	7

OF2

Article B Taille de lot = 200 — Date de début : 21 juin matin

Gamme — Date de fin : 23 juin au soir

Phase	Poste	TU	TP	Statut	Durée
10	M2	0,02	2		6
20	M3	0,03	2		8
30	M4	0,01	3		5
				Total	19

OF3					
Article C Taille de lot = 100			Date de début : 21 juin matin		
Gamme			Date de fin : 24 juin au soir		
Phase	**Poste**	**TU**	**TP**	**Statut**	**Durée**
10	M2	0,01	1		2
20	M5	0,07	4		11
30	M3	0,02	2		4
40	M1	0,03	1		4
				Total	21

OF4					
Article D Taille de lot = 300			Date de début : 21 juin matin		
Gamme			Date de fin : 25 juin au soir		
Phase	**Poste**	**TU**	**TP**	**Statut**	**Durée**
10	M1	0,01	1		4
20	M4	0,02	3		9
30	M3	0,005	1,5		3
40	M5	0,03	2		11
				Total	27

Figure 6.4 – 4 OF avec leurs données

1er ordonnancement : ordre/ordre au plus tôt avec priorité à la date de fin la plus proche

La liste de priorités avec le critère de la date de fin la plus proche donne le classement suivant : OF1 puis OF2 puis OF3 et enfin OF4. Pour réaliser l'ordonnancement, on place les ordres, un par un, dans le planning en respectant ce classement et en commençant par le lundi à 8 heures du matin. Cela donne le Gantt ci-dessous.

Jours	Lundi 21 juin							Mardi 22 juin							Mercredi 23 juin							Jeudi 24 juin							Vendredi 25 juin						
Heures	8	9	10	11	14	15	16	8	9	10	11	14	15	16	8	9	10	11	14	15	16	8	9	10	11	14	15	16	8	9	10	11	14	15	16
V1	OF4	OF4	OF4	OF4																									OF3	OF3	OF3	OF3			
V2	OF3	OF3			OF1	OF1	OF1	OF1	OF2	OF2	OF2	OF2	OF2	OF2																					
V3	OF1	OF1	OF1													OF2	OF2	OF2	OF2	OF2	OF2	OF2	OF2	OF3	OF3	OF3	OF3		OF4	OF4	OF4				
V4						OF4	OF4	OF4	OF4	OF4	OF4	OF4	OF4	OF4											OF2	OF2	OF2	OF2	OF2						
V5						OF3	OF3	OF3	OF3	OF3	OF3	OF3	OF3	OF3	OF3	OF3																	OF4	OF4	OF4

Figure 6.5 – Planning Gantt du 1er ordonnancement

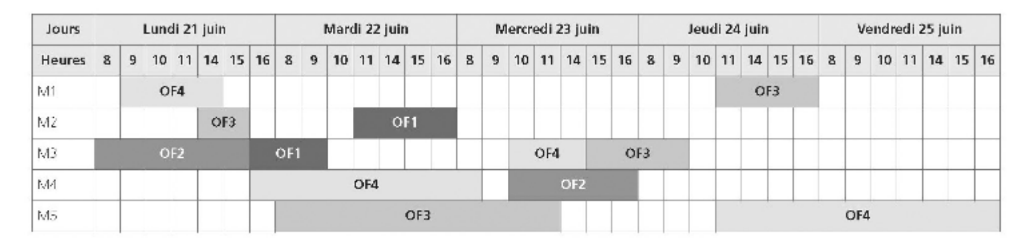
On notera que l'OF2 et l'OF3 ne respectent pas leur date de fin et que l'OF4 ne peut pas être planifié en entier ! Le tableau ci-dessous présente le résultat synthétique de l'ordonnancement. Le dépassement correspond ici à un retard de la dernière opération par rapport à la date de fin de l'OF.

Liste	Priorité	Possible ?	Dépassement en h
OF1	1	Oui	
OF2	2	Non	1
OF3	3	Non	4
OF4	4	Non	8
		Total	13
		Dépassement moyen	4,33

Figure 6.6 – Performance du 1er ordonnancement

2e ordonnancement : ordre/ordre au plus tard avec priorité à la date de fin la plus proche

La liste de priorité ne change pas, mais ici nous allons ordonnancer en commençant par les dernières opérations et en partant des dates de fin des ordres. Cela donne le Gantt ci-dessous.



Jours	Lundi 21 juin							Mardi 22 juin							Mercredi 23 juin							Jeudi 24 juin							Vendredi 25 juin						
Heures	8	9	10	11	14	15	16	8	9	10	11	14	15	16	8	9	10	11	14	15	16	8	9	10	11	14	15	16	8	9	10	11	14	15	16
M1		OF4	OF4	OF4	OF4																				OF3	OF3	OF3	OF3							
M2					OF3	OF3					OF1	OF1	OF1	OF1																					
M3	OF2	OF2	OF2	OF2	OF2	OF2	OF1	OF1	OF1								OF4	OF4	OF4	OF3	OF3	OF3	OF3												
M4							OF4	OF4	OF4	OF4	OF4	OF4	OF4	OF4	OF4		OF2	OF2	OF2	OF2	OF2														
M5								OF3	OF3	OF3	OF3	OF3	OF3	OF3	OF3	OF3	OF3	OF3							OF4	OF4	OF4	OF4	OF4	OF4	OF4	OF4	OF4	OF4	OF4

Figure 6.7 – Planning Gantt du 2e ordonnancement

L'OF2 ne peut pas être placé entièrement car la phase 20, et *a fortiori* la phase 10, se retrouve planifiée dans le passé (avant le 21 juin). Le dépassement correspond donc ici à une ou à plusieurs opérations qui sont programmées avant la date actuelle du 21 juin.

Liste	Priorité	Possible ?	Dépassement en h
OF1	1	Oui	
OF2	2	Non	9
OF3	3	Oui	
OF4	4	Oui	
		Total	9
		Dépassement moyen	9

Figure 6.8 – Performance du 2e ordonnancement

3e ordonnancement : ordre/ordre au plus tôt avec priorité au ratio critique le plus petit

Pour déterminer la liste de priorité il faut d'abord calculer le ratio critique de chaque ordre. Le temps restant est déterminé en fonction de la date de fin de l'OF et de la date actuelle (21 juin à 8 heures du matin). Le travail restant est la somme des temps opératoires et des temps de préparation pour l'ensemble des phases qui restent à programmer.

OF	OF1	OF2	OF3	OF4
Travail restant	7	19	21	27
Temps restant	14	21	28	35
Ratio critique	2,000	1,105	1,333	1,296
Priorité	4	1	3	2

Figure 6.9 – Calcul des ratios critiques

Cela donne le classement suivant : OF2 puis OF4 puis OF3 et enfin OF1. Pour réaliser l'ordonnancement, on place les ordres, un par un, dans le planning en respectant ce classement et en commençant par le lundi à 8 heures du matin. Cela donne le Gantt ci-dessous.

Jours	Lundi 21 juin	Mardi 22 juin	Mercredi 23 juin	Jeudi 24 juin	Vendredi 25 juin
Heures	8 9 10 11 14 15 16	8 9 10 11 14 15 16	8 9 10 11 14 15 16	8 9 10 11 14 15 16	8 9 10 11 14 15 16
M1	OF4				
M2	OF2	OF3 OF1			
M3	OF1	OF2	OF4		
M4		OF4	OF2		
M5				OF4	OF3

Figure 6.10 – Planning Gantt du 3e ordonnancement

L'OF3 ne peut pas être placé entièrement car la phase 20 et *a fortiori* la phase 30 et 40, sont programmées après la date de fin de l'OF.

Liste	Priorité	Possible ?	Dépassement en h
OF1	4	Oui	
OF2	1	Oui	
OF3	3	Non	15
OF4	2	Oui	
		Total	15
		Dépassement moyen	15

Figure 6.11 – Performance du 3e ordonnancement

4e ordonnancement : opération/opération au plus tôt avec priorité au ratio critique le plus petit

Il s'agit d'une technique d'ordonnancement plus complexe que les précédentes. Au lieu de placer les ordres un par un comme précédemment (suivant une liste de priorité), on va raisonner directement sur les opérations (en analysant les files d'attente) en utilisant la règle du ratio critique en cas de conflit.

Jours	Lundi 21 juin	Mardi 22 juin	Mercredi 23 juin	Jeudi 24 juin	Vendredi 25 juin
Heures	8 9 10 11 14 15 16	8 9 10 11 14 15 16	8 9 10 11 14 15 16	8 9 10 11 14 15 16	8 9 10 11 14 15 16
M1	OF4			OF3	
M2	OF2	OF3 OF1			
M3	OF1	OF2	OF4	OF3	
M4		OF4	OF2		
M5		OF3		OF4	

Figure 6.12 – Planning Gantt du 4e ordonnancement

Détail de l'ordonnancement opération par opération :

- On commence avec un planning vide le lundi matin à 8 heures. Quatre opérations sont candidates au placement : OF1 sur M3, OF2 sur M2, OF3 sur M2 et OF4 sur M1. On peut donc placer la phase 30 de l'OF1 et la phase 10 de l'OF4, et il faut départager les opérations candidates sur M2 : ratio critique de l'OF2 = 21/(6 + 8 + 5) = 1,105 et ratio critique de l'OF3 = 28/(2 + 11 + 4 + 4) = 1,33, donc on place la phase 10 de l'OF2 sur M2.
- On avance jusqu'au lundi 11 heures : M3 se libère et la phase 20 de l'OF1 deviendra candidate au placement sur M2 à 14 heures (car 1 heure de transport) mais la machine M2 ne sera libre qu'à 16 heures. La phase 20 de l'OF1 reste donc en file d'attente.
- On avance jusqu'au lundi 14 heures : M1 se libère et la phase 20 de l'OF4 deviendra candidate au placement sur M4 à 15 heures.
- On avance jusqu'au lundi 15 heures : seule la phase 20 de l'OF4 est dans la file d'attente de M4 donc on peut la placer.
- On avance jusqu'au lundi 16 heures : M2 se libère et la phase 20 de l'OF2 deviendra candidate au placement sur M3 à 8 heures. Deux opérations sont candidates pour passer sur M2 : la phase 10 de l'OF3 et la phase 20 de l'OF1 : ratio critique OF3 = 28/(2 + 11 + 4 + 4) = 1,33 et ratio critique OF1 = 8/4 = 2, donc on place la phase 10 de l'OF3.
- On avance jusqu'au mardi 8 heures : on peut placer la phase 20 de l'OF2 sur M3.
- On avance jusqu'au mardi 9 heures : M2 se libère et la phase 20 de l'OF3 sera candidate au placement sur M5 à 10 heures. On peut placer la phase 40 de l'OF1 sur M2.
- On avance jusqu'au mardi 10 heures : on peut placer la phase 20 de l'OF3 sur M5.
- On avance jusqu'au mardi 15 heures : M2 se libère mais aucune autre opération n'est candidate. L'OF1 est entièrement placé et se termine avant sa date de fin.
- On avance jusqu'au mercredi 8 heures : M4 se libère mais aucune opération n'est candidate. La phase 30 de l'OF4 sera candidate au passage sur M3 à 9 heures.
- On avance jusqu'au mercredi 9 heures : M3 se libère, on peut donc placer la phase 30 de l'OF4 sur M3. La phase 20 de l'OF2 se termine, et donc la phase 30 de l'OF2 sera candidate au passage sur M4 à 10 heures.
- On avance jusqu'au mercredi 10 heures : on peut placer la phase 30 de l'OF2 sur M4. L'OF2 se terminera donc juste à sa date de fin.

- On avance jusqu'au mercredi 16 heures : M3 et M5 se libèrent : l'OF3 ira sur M3 à 8 heures ; l'OF4 ira sur M5 à 8 heures.
- On avance jusqu'au jeudi à 8 heures : on peut placer l'OF3 sur M3 et l'OF4 sur M5. L'OF4 se terminera donc avant sa date de fin.
- Et enfin on peut placer l'OF3 sur M1, mais celui-ci se termine 2 heures après sa date de fin !

Liste	Priorité	Possible ?	Dépassement en h
OF1		Oui	
OF2		Oui	
OF3		Non	2
OF4		Oui	
		Total	2
		Dépassement moyen	2

Figure 6.13 – Performance du 4e ordonnancement

C'est le meilleur ordonnancement que nous ayons eu jusqu'à présent (mais il ne faut pas pour autant en tirer la conclusion que cette technique donne toujours le meilleur résultat car parfois ce n'est pas le cas).

Il est possible d'améliorer le résultat de cet ordonnancement en mettant en place un chevauchement entre les phases 30 et 40 de l'OF3. Cela donne le planning suivant pour lequel tous les OF finissent avant leur date de fin.

<table>
<tr><td>Jours</td><td colspan="7">Lundi 21 juin</td><td colspan="7">Mardi 22 juin</td><td colspan="7">Mercredi 23 juin</td><td colspan="7">Jeudi 24 juin</td><td colspan="7">Vendredi 25 juin</td></tr>
<tr><td>Heures</td><td>8</td><td>9</td><td>10</td><td>11</td><td>14</td><td>15</td><td>16</td><td>8</td><td>9</td><td>10</td><td>11</td><td>14</td><td>15</td><td>16</td><td>8</td><td>9</td><td>10</td><td>11</td><td>14</td><td>15</td><td>16</td><td>8</td><td>9</td><td>10</td><td>11</td><td>14</td><td>15</td><td>16</td><td>8</td><td>9</td><td>10</td><td>11</td><td>14</td><td>15</td><td>16</td></tr>
<tr><td>M1</td><td colspan="4">OF4</td><td colspan="20"></td><td colspan="4">OF3</td><td colspan="7"></td></tr>
<tr><td>M2</td><td colspan="6">OF2</td><td colspan="2">OF3</td><td colspan="4">OF1</td><td colspan="23"></td></tr>
<tr><td>M3</td><td colspan="3">OF1</td><td colspan="4"></td><td colspan="8">OF2</td><td colspan="5">OF4</td><td></td><td colspan="4">OF3</td><td colspan="10"></td></tr>
<tr><td>M4</td><td colspan="5"></td><td colspan="9">OF4</td><td colspan="2"></td><td colspan="5">OF2</td><td colspan="14"></td></tr>
<tr><td>M5</td><td colspan="9"></td><td colspan="11">OF3</td><td></td><td colspan="11">OF4</td><td colspan="3"></td></tr>
</table>

Figure 6.14 – Planning Gantt du 4e ordonnancement avec chevauchement

Gantt des OF

Nous venons de voir le Gantt des machines. On peut aussi visualiser le planning précédent sous la forme d'un Gantt des OF.

<table>
<tr><th>Jours</th><th colspan="7">Lundi 21 juin</th><th colspan="7">Mardi 22 juin</th><th colspan="7">Mercredi 23 juin</th><th colspan="7">Jeudi 24 juin</th><th colspan="7">Vendredi 25 juin</th></tr>
<tr><th>Heures</th><th>8</th><th>9</th><th>10</th><th>11</th><th>14</th><th>15</th><th>16</th><th>8</th><th>9</th><th>10</th><th>11</th><th>14</th><th>15</th><th>16</th><th>8</th><th>9</th><th>10</th><th>11</th><th>14</th><th>15</th><th>16</th><th>8</th><th>9</th><th>10</th><th>11</th><th>14</th><th>15</th><th>16</th><th>8</th><th>9</th><th>10</th><th>11</th><th>14</th><th>15</th><th>16</th></tr>
<tr><td>OF1</td><td colspan="3">M3</td><td colspan="5"></td><td colspan="4">M2</td><td colspan="23"></td></tr>
<tr><td>OF2</td><td colspan="6">M2</td><td></td><td colspan="8">M3</td><td></td><td colspan="5">M4</td><td colspan="14"></td></tr>
<tr><td rowspan="2">OF3</td><td colspan="6"></td><td colspan="2">M2</td><td></td><td colspan="11">M5</td><td></td><td colspan="4">M3</td><td colspan="10"></td></tr>
<tr><td colspan="24"></td><td colspan="4">M1</td><td colspan="7"></td></tr>
<tr><td>OF4</td><td colspan="4">M1</td><td></td><td colspan="9">M4</td><td></td><td colspan="5">M3</td><td></td><td colspan="11">M5</td><td colspan="3"></td></tr>
</table>

Figure 6.15 – Gantt des OF

Calcul des charges

Cette visualisation permet de voir le taux de charge de chaque jour. On remarquera que dans l'ordonnancement d'atelier, la charge ne dépasse jamais la capacité car l'ordonnancement fonctionne à capacité finie alors que la planification détaillée (voir chapitre 5 : Planification détaillée) fonctionne à capacité infinie.

<table>
<tr><th>Jours</th><th colspan="7">Lundi 21 juin</th><th colspan="7">Mardi 22 juin</th><th colspan="7">Mercredi 23 juin</th><th colspan="7">Jeudi 24 juin</th><th colspan="7">Vendredi 25 juin</th></tr>
<tr><th>Heures</th><th>8</th><th>9</th><th>10</th><th>11</th><th>14</th><th>15</th><th>16</th><th>8</th><th>9</th><th>10</th><th>11</th><th>14</th><th>15</th><th>16</th><th>8</th><th>9</th><th>10</th><th>11</th><th>14</th><th>15</th><th>16</th><th>8</th><th>9</th><th>10</th><th>11</th><th>14</th><th>15</th><th>16</th><th>8</th><th>9</th><th>10</th><th>11</th><th>14</th><th>15</th><th>16</th></tr>
<tr><td>M1</td><td colspan="4">57,1 %</td><td colspan="17"></td><td colspan="4">57,1 %</td><td colspan="10"></td></tr>
<tr><td>M2</td><td colspan="7">100 %</td><td colspan="5">71,4 %</td><td colspan="23"></td></tr>
<tr><td>M3</td><td colspan="3">42,9 %</td><td colspan="4"></td><td colspan="7">100 %</td><td colspan="6">85,7 %</td><td></td><td colspan="4">57,1 %</td><td colspan="10"></td></tr>
<tr><td>M4</td><td colspan="2">28,6 %</td><td colspan="5"></td><td colspan="7">100 %</td><td colspan="5">71,4 %</td><td colspan="16"></td></tr>
<tr><td>M5</td><td colspan="7"></td><td colspan="5">71,4 %</td><td colspan="2"></td><td colspan="6">85,7 %</td><td></td><td colspan="7">100 %</td><td colspan="4">57,1 %</td><td colspan="3"></td></tr>
</table>

Figure 6.16 – Plan de charge journalier

En conclusion

L'ordonnancement donne des résultats très différents suivant la règle de priorité que l'on choisit, et aucune ne peut être déclarée efficace dans tous les cas ; cela veut donc dire qu'il faut à chaque ordonnancement refaire le planning avec chaque règle pour choisir le meilleur (le plus performant).

De ceci découle le fait que cela ne peut se faire qu'avec un outil informatique. À l'époque des ordonnancements réalisés à la main (planning mural à goulottes avec bandes de carton pour matérialiser les OF), il était impossible de faire une optimisation du planning. La plupart du temps, lorsqu'un nouvel OF était lancé, les opérations de cet OF étaient simplement ajoutées dans les « trous » du planning, sans modifier les opérations déjà planifiées : il s'agit de l'application de la règle de priorité FIFO (donc dernier arrivé, dernier ordonnancé).

Il faut noter que la durée de vie d'un planning est très courte : en effet, dès l'occurrence d'un événement perturbateur (panne, retard, absence, non-qualité, etc.) le planning devient caduc : il faut donc réordonnancer.

2.2.3. Suivi de production

Le suivi de production a pour objectif de déterminer le niveau d'avancement des OF lancés : OF non encore démarré, partiellement terminé, terminé, quantité réalisée, rebutée, en reprise, temps réalisés… Le suivi est plus ou moins fin : on peut suivre chaque opération ou, au contraire, ne contrôler que certains points de passage. L'évolution vers la production au plus juste, en raccourcissant les délais, permet de simplifier le suivi, et l'informatisation des ateliers conduit à automatiser la prise d'information.

2.2.4. Contrôle et rétroaction

Il existe un flux bidirectionnel entre le système de planification et le système d'exécution (atelier). De la planification peuvent provenir des annulations d'ordres, additions d'ordres, une action corrective. Pour l'atelier, il s'agit d'un ajustement de capacité, de l'utilisation d'un poste de remplacement, de l'éclatement d'un ordre ou d'une opération, d'un chevauchement d'opérations, de sous-traitance… Si l'écart entre le programme prévu et sa réalisation est trop important, le retour vers la planification pourra se faire sous la forme d'un rapport d'exception qui permettra au gestionnaire de production de prendre des décisions importantes comme un changement de date de fin, une modification de la quantité de l'ordre ou même une annulation d'ordre… sans toutefois oublier la date de besoin et la satisfaction du client !

2.2.5. Fermeture ou clôture de l'ordre

C'est la dernière activité du pilotage des activités de production, et elle est importante. Elle a deux objectifs : libérer l'atelier de sa responsabilité au sujet de l'ordre, et donner les informations finales concernant cet ordre. Notamment, c'est le moment d'effectuer le bilan des produits classés bons, rebutés ou à reprendre (récupération).

Une « historisation » (transfert dans la base « historique ») des ordres clos permet de les supprimer de la base active des ordres de fabrication, tout en gardant la possibilité plus tard de faire des analyses (sur la qualité, sur les délais, sur les temps opératoires, etc.).

2.3. Conditions de bon fonctionnement

Soulignons maintenant les conditions de bon fonctionnement du PAP :

2.3.1. Principes de base

L'exécution doit être réalisée selon la planification établie ; on déterminera à ce niveau la priorité des opérations et non celle des ordres (celle-ci provenant des dates de fin du calcul des besoins). Il s'agit également de gérer les ressources de l'atelier et non pas de les acquérir (un achat de machine ou une embauche de personnel ne se décide pas à ce niveau !). Le tableau 6.17 résume de quelle manière le PAP acquiert les informations fondamentales nécessaires.

	Calcul des besoins	Autres sources
Quoi ?	code article	
Quand ?	date de fin, date de début	
Combien ?	quantité	
Où ?		fichier centres de charge
Comment ?		fichier gamme

Figure 6.17 – Les informations du pilotage des activités de la production

2.3.2. Qualités du système de planification

Il doit présenter les quatre qualités suivantes :

- être complet et intégré : planification à trois niveaux décrite dans les chapitres 5 et 6 avec PIC, PDP et calcul des besoins nets validés, selon le cas, par un calcul de charges globales ou détaillées ;
- formel, c'est-à-dire que le système de planification doit être la seule entrée dans le PAP ;
- valide, c'est-à-dire conforme aux objectifs programmés ;
- réaliste, c'est-à-dire réalisable avec les ressources disponibles.

2.3.3. La base de données

Elle peut être centralisée ou répartie, mais elle doit être unique. Comme cela a été souligné dans le chapitre 2 les données doivent être précises (nomenclatures > 98%, stocks > 95%…), complètes (outillages, temps…), clairement définies (centres de charge, gammes…) et surtout accessibles par le système de PAP.

2.3.4. *L'interface avec le système de planification*

L'interface entre le système de planification et le système de pilotage des activités de production fonctionne dans les deux sens. Par exemple, de la planification (vers le PAP) proviennent date de besoin, quantité de l'ordre, date de début… conduisant au calcul des priorités permettant l'ordonnancement, et du PAP vers la planification circulent des informations sur les arrêts machines, les rebuts excessifs, les retards… permettant au gestionnaire de juger du bon avancement des OF et de replanifier si nécessaire.

2.3.5. *L'ergonomie du logiciel*

Le logiciel d'ordonnancement utilisé doit permettre d'afficher des plannings clairs, lisibles, avec des indicateurs de performances du planning. Il doit permettre à l'agent d'ordonnancement d'agir sur le planning (glissez-déplacez à la souris) pour imposer une séquence ou déplacer une opération. Enfin, le logiciel doit permettre de faire des essais ou des simulations avant de choisir le planning que l'on va appliquer.

2.4. La mesure de performance

Là comme ailleurs, cette mesure indiquera si les engagements sont tenus ou si des actions correctives doivent être menées. L'objectif de l'atelier est de respecter les dates de fin d'opérations ou d'OF. Les seules qui comptent pour le service client sont les dates de fin d'OF. Un indicateur simple permet de mesurer cette performance :

$$\frac{\text{Nombre d'OF avec date de fin dans la période et terminés dans la période}}{\text{Nombre total d'OF avec date de fin dans la période}}$$

Une fonction souvent mal remplie, est le retour d'information depuis l'atelier. Lorsqu'un retard est prévisible ou constaté au niveau de l'atelier, celui-ci doit avertir le gestionnaire ou l'atelier client de façon à pouvoir mesurer les conséquences de ce retard et prendre les mesures adéquates.

2.5. Le suivi des flux de charge

Le suivi des flux de charge est relativement méconnu en France. Il constitue pourtant une aide précieuse au pilotage de la production. Le principe en est très simple puisqu'il s'agit de mesurer et de contrôler le flux physique qui passe à travers un centre de charge (ou un atelier) pour une période donnée. Ce pilotage est surtout utile pour un poste goulet.

Un centre de charge peut être représenté d'une manière schématique par un entonnoir : les ordres de fabrication entrent, les réalisations sortent et le contenu de l'entonnoir représente le travail lancé mais en attente (figure 6.18).

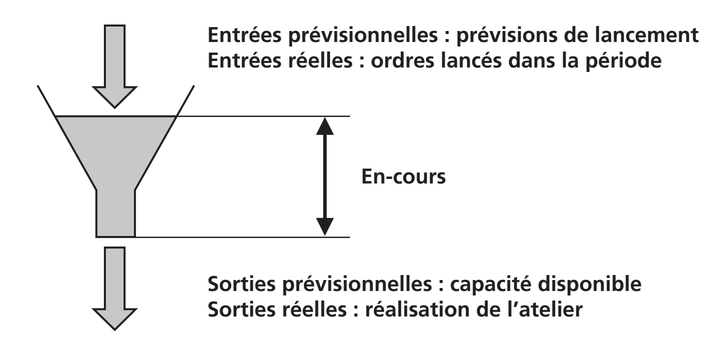


Figure 6.18 – Principe du suivi de charge en atelier

Dans la période considérée, entrées et sorties sont d'une part prévisionnelles, c'est-à-dire programmées, et d'autre part réelles, c'est-à-dire constatées. Chaque fois que l'en-cours est en dehors d'une fourchette prédéfinie, il faut agir sur la sortie (de la responsabilité de l'atelier) et/ou sur l'entrée (responsabilité du gestionnaire). La figure 6.19 illustre un suivi de flux de charge. L'intégralité des colonnes correspond au passé où les valeurs prévisionnelles et réelles sont connues.

Centre de charge : XYZ — Unité : heures/semaine

Semaine		S-7	S-6	S-5	S-4	S-3	S-2	S-1
Entrées prévisionnelles		80	80	80	75	75	75	80
Entrées réelles		78	82	80	76	74	75	79
Sorties prévisionnelles		80	80	80	77	77	80	80
Sorties réelles		74	76	75	76	77	79	80
En-cours prévisionnel		60	64	70	73	73	67	66
En-cours réel	60	64	70	75	75	72	68	
Objectif d'en-cours =		60 h	+/–	10 h				

Figure 6.19 – Exemple de suivi de flux de charge

Durant les trois premières semaines de cet historique, les entrées réelles ont été conformes aux prévisions (80 en moyenne). En revanche, les sorties réelles sont en moyenne inférieures de cinq heures par semaine. Cette situation

conduit à une augmentation de l'en-cours que ce module de suivi permet de détecter facilement (75 heures en semaine S-5).

L'atelier va remédier au problème pour retrouver son niveau normal de sortie : deux semaines transitoires à 77 heures avant de retrouver la capacité normale de 80 heures (ceci en améliorant le taux d'utilisation des moyens ou alors en planifiant des heures supplémentaires). Le gestionnaire pendant trois semaines a lancé moins de travail qu'habituellement sur ce centre, afin de ne pas créer d'en-cours inutiles et on voit donc que l'on a retrouvé un en-cours compris entre 50 et 70 heures (objectif) en semaine S-2.

Cette analyse permet de mettre sous contrôle les files d'attente devant les postes goulets de façon à réagir rapidement en cas de problème évitant ainsi :

- de se retrouver avec des en-cours pléthoriques (qui mettront plusieurs semaines ou mois à se résorber) ;
- de se retrouver sans en-cours provoquant ainsi un arrêt du poste ce qui, pour un poste goulet, est plutôt embêtant car le temps perdu de cette façon devra probablement être récupéré plus tard en mettant en place des heures supplémentaires.

3. La gestion d'atelier par les contraintes

3.1. Introduction

La gestion par les contraintes est une théorie de management industriel apparue aux États-Unis dans le dernier quart du XXe siècle. Il s'agit de la théorie OPT (*Optimized Production Technology*) qui est le résultat des travaux de E. M. Goldratt. Goldratt est connu en Europe principalement pour un ouvrage intitulé *Le but*, qui a un grand succès et qui développe, d'une manière très simple, les principes de la méthode.

Cette approche présente une manière différente d'appréhender l'entreprise et son management dans sa globalité. Nous avons choisi de ne parler ici que de la partie pilotage de l'atelier par cette approche.

Que peut bien signifier : gérer un atelier par ses contraintes ? Qu'est-ce qui est une contrainte dans un atelier ; la mauvaise humeur de son responsable ? Eh bien non ! Une contrainte s'exprime en termes de capacité de production insuffisante, et plus précisément en termes de goulet d'étranglement.

Qu'est-ce alors qu'un goulet d'étranglement ?

Soit la ligne de production présentée en figure 6.20 :

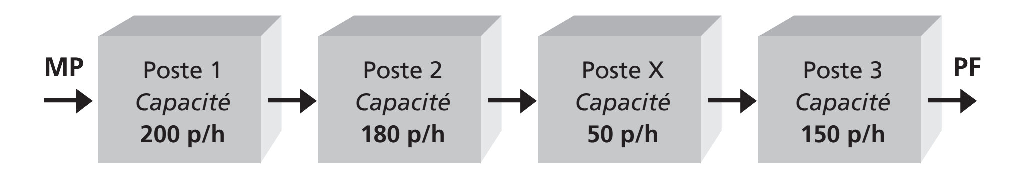


Figure 6.20 – Ligne de production : capacité des postes exprimée en pièces fabriquées par heure

Existe-t-il dans cette ligne de production un goulet d'étranglement ?

On peut observer qu'un des postes de production a une capacité nettement inférieure à celle des autres. S'agit-il d'un goulet ? Il nous est impossible de répondre, car nous ne possédons pas suffisamment d'informations. L'information primordiale qui nous manque est l'information de demande, de besoin client.

En effet, si le besoin client est inférieur à 50 pièces par heure, notre ligne de production nous permet de répondre sans aucune difficulté à la demande, il n'y a donc pas de problème donc pas de goulet, pas de contrainte.

Si, en revanche, le besoin client est supérieur à 50 pièces par heure, notre ligne de production possède au moins un goulet, le poste X, qui ne permet pas de répondre à la demande. Si, par ailleurs, le besoin client est supérieur à 150 pièces par heure, notre ligne possède deux goulets, le poste X et le poste 3.

Un goulet d'étranglement est donc une ressource de production, quelle qu'elle soit, dont la capacité de production ne permet pas de répondre aux besoins du marché.

Toute l'approche de la gestion d'atelier par les contraintes va consister à montrer que les goulets déterminent totalement les règles et les conditions de la production dans l'entreprise.

3.2. Les contraintes et le pilotage de l'atelier

3.2.1. Quelques remarques préalables

Notre analyse concernant la figure 6.20 nous a amené à parler de goulet comme étant une ressource de production dont la capacité ne permet pas de répondre à la demande. De quelle capacité s'agit-il ?

Chaque fois que nous serons amenés à utiliser ce terme, nous l'emploierons pour parler de la capacité démontrée de la ressource. Cette capacité n'est pas la capacité théorique, la cadence donnée par le constructeur d'une machine par exemple. C'est la capacité réelle qui tient compte des pannes et de tous les aléas divers pouvant se produire sur la ressource. Cette capacité reste en général trop souvent méconnue par les utilisateurs des ressources, ce qui pose des problèmes pour répondre de manière satisfaisante à la demande des clients.

Notre analyse concernant la figure 6.20 nous a également amené à considérer que l'on pouvait observer plusieurs goulets sur une même ligne de production. Mais, on peut dès maintenant remarquer que l'un des goulets est toujours plus pénalisant, donc plus « goulet » que les autres, et c'est par voie de conséquence, lui, qui représentera la contrainte majeure de pilotage de la production. En effet, la cadence d'une ligne de production étant donnée par le poste le plus lent de cette ligne, c'est le poste le plus « goulet » qui pilotera la ligne.

Ces précisions étant apportées, on peut maintenant développer les principes de cette approche par les contraintes.

3.3. Équilibre des capacités, équilibre du flux

Les entreprises cherchent fréquemment sur une ligne de production, l'équilibre des capacités. Cette démarche est imposée par la réflexion suivante : si les capacités ne sont pas équilibrées sur les différents postes d'une ligne de production, certains seront amenés à attendre que les postes ayant une cadence inférieure terminent leur production.

La recherche de l'équilibre est bien difficile à réaliser, car comme nous l'avons montré précédemment, on connaît mal les capacités. Par ailleurs, en supposant que l'on y parvienne, que remarque-t-on ? Chaque poste est soumis à des aléas divers : pannes machine, non-qualité des pièces, en-cours…

Ces aléas ne se produisent en général pas tous en même temps sur tous les postes de la ligne. Chaque fois qu'un aléa se produit sur un poste de production, les autres postes de la ligne vont subir indirectement les conséquences de cet aléa par le biais d'une rupture d'approvisionnement par exemple. On peut alors observer un phénomène d'accumulation des aléas qui va générer un accroissement des délais, donc des retards, et le client ne sera pas satisfait !

La logique de gestion par les contraintes préconise par conséquent de ne pas chercher à équilibrer les capacités, mais de les utiliser telles qu'elles sont, de manière à créer un flux adapté à la demande en utilisant la polyvalence par exemple ou en ayant recours aux heures supplémentaires…

Il faut donc chercher à équilibrer le flux et non les capacités.

Cette démarche conduit à maintenir dans les ateliers une situation de déséquilibre. La gestion par les contraintes va chercher à faire fonctionner au mieux les ateliers dans cette situation de déséquilibre.

3.4. Niveau d'utilisation d'un poste non goulet

D'après ce que nous avons présenté précédemment, on peut constater qu'il y a deux types de ressources dans un atelier :

- les ressources goulets, ressources dont la capacité est inférieure à la demande du marché ;
- les ressources non goulets, ressources dont la capacité est supérieure à la demande du marché.

Supposons une ligne de production composée de deux ressources :

- X ressource goulet de capacité 100 pièces à l'heure ;
- A ressource non goulet de capacité 120 pièces à l'heure.

Supposons que la ressource X alimente, dans la ligne, la ressource A (figure 6.21).

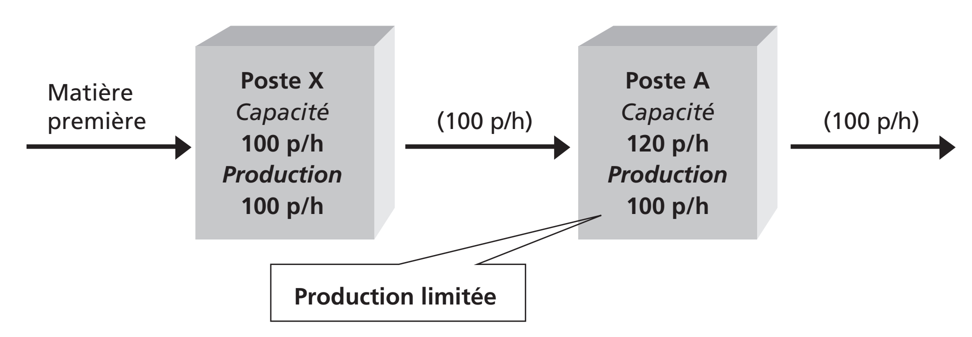


Figure 6.21 – Ligne de production à goulet

Le goulet ayant une capacité limitée à 100 pièces par heure, on ne pourra jamais transférer plus de 100 pièces par heure au niveau de A ; on ne pourra donc jamais produire plus de 100 pièces par heure au niveau de A même si sa capacité devait lui permettre de produire davantage. On peut observer que la production d'un poste aval dépend, elle aussi, toujours de la capacité de production d'un poste amont, si celui-ci a une capacité inférieure à celle du poste aval.

Le niveau d'utilisation d'un non goulet n'est pas déterminé par son propre potentiel, mais par d'autres contraintes du système.

Cette considération est à prendre très sérieusement en compte, car elle modifie sensiblement la perception que l'on peut avoir de la productivité d'un poste de

production. Si l'on effectue, par exemple, une étude de choix d'investissement parmi deux équipements, dont l'un a une capacité quatre fois supérieure à l'autre (ce qui ramène le coût d'usinage par pièce calculé sur l'amortissement à une valeur faible), on aura tendance à choisir le matériel à forte capacité, en prétextant sa rentabilité rapide. Mais supposons que l'on intègre ce matériel dans une ligne de production où l'un des postes situés en amont n'a qu'une capacité faible, on ne pourra faire passer sur le nouveau matériel qu'un cinquième ou un quart de la production prévue, ce qui va augmenter considérablement le coût unitaire des pièces produites et allonger le retour sur investissement.

Ceci n'est qu'un exemple de la nécessité de prendre en compte toutes les contraintes d'un système pour connaître et maîtriser le niveau d'utilisation possible des postes non goulets.

Approfondissons encore cette idée. Supposons maintenant une ligne de production composée de quatre ressources :

- A1 : ressource non goulet de capacité 200 pièces par heure ;
- A2 : ressource non goulet de capacité 120 pièces par heure ;
- X : ressource goulet de capacité 100 pièces par heure ;
- A3 : ressource non goulet de capacité 150 pièces par heure.

Supposons que l'on ait le flux de production illustré sur la figure 6.22 : A1 alimente A2 qui alimente X qui alimente A3.

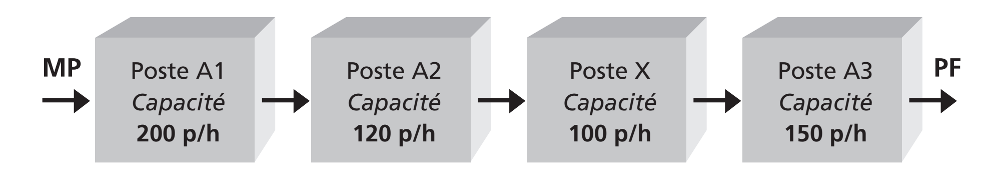


Figure 6.22 – Ligne de production à 4 postes dont un goulet

Si l'on décide de produire en saturant la capacité, que va-t-il se passer ?

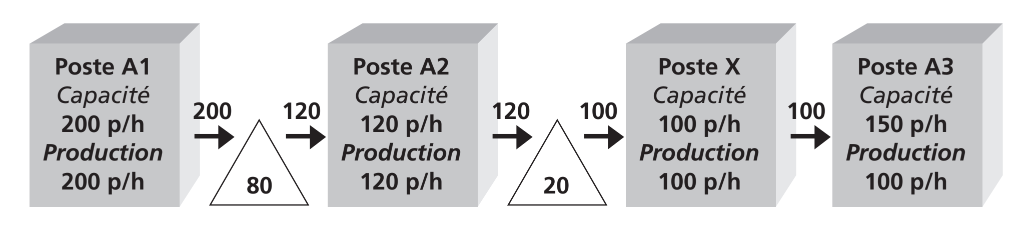


Figure 6.23 – Ligne de production à 4 postes dont un goulet : production en saturant la capacité

Il va se créer, la première heure d'utilisation de la ligne, un stock d'en-cours de 80 en amont du poste A2 et un stock de 20 en amont de X. Ces stocks ne pourront jamais être absorbés du fait de l'existence du goulet. Si on continue à fonctionner ainsi, les en-cours vont s'accumuler indéfiniment.

L'utilisation et le plein-emploi d'une ressource ne doivent donc pas être synonymes.

Chaque poste de production s'intègre dans un système plus global qui lui impose son fonctionnement. Cette idée est à retenir pour essayer d'organiser et de faire fonctionner au mieux le système de production de l'entreprise.

3.5. Utilisation des goulets et fonctionnement du système de production

Si on reste dans la situation décrite dans la figure 6.23, et qu'on considère que notre ressource goulet n'est pas approvisionnée pendant un certain temps, ce qui ne lui permet de produire que 90 pièces au lieu de 100. Que va-t-il se passer ?

On ne va pouvoir produire que 90 pièces en tout et pour tout, quel que soit le potentiel des autres postes de la ligne.

Une heure perdue sur un goulet est donc une heure perdue pour tout le système.

Il faut donc chercher à protéger les goulets puisque ce sont eux qui déterminent toute la production. Il faut qu'ils soient constamment approvisionnés pour qu'ils puissent au moins fabriquer l'équivalent de leur capacité. Si un stock est indispensable quelque part, c'est bien juste en amont d'un goulet ! Ailleurs non, car les postes ont une capacité suffisante pour leur permettre de compenser le retard par manque d'approvisionnement.

Supposons que l'on soit de nouveau dans la situation de la figure 6.21, où X alimente A. Supposons que l'on parvienne à diminuer le temps de changement de série sur A. Quel intérêt cela peut-il avoir puisque X limite toujours la production ?

Essayons de répondre aux deux questions suivantes :

Question n° 1

Quand on décide d'installer dans un atelier un chantier pilote SMED (voir chapitre 12 : Les principaux outils du *Lean*), sur quelle machine le fait-on *a*

priori dans une logique traditionnelle ? Et pourquoi ? Et dans une logique de gestion par les contraintes ? Pourquoi ?

Dans une logique traditionnelle, on choisira pour un chantier SMED, une machine qui a un temps de réglage long que l'on va essayer de diminuer pour diminuer les tailles de lots de fabrication et donc accroître la flexibilité en changeant de série plus souvent.

Dans une logique de gestion par les contraintes, on doit effectuer la démarche SMED tout d'abord sur le ou les goulets pour diminuer le temps de réglage et gagner ainsi du temps de production, donc, augmenter la capacité du goulet pour que celui-ci soit « moins goulet ».

En conclusion, on utilisera SMED sur les goulets pour augmenter leur capacité de production et on utilisera SMED sur les non goulets pour diminuer les tailles de lot et les rendre plus flexibles. On peut d'ailleurs remarquer que toute la surcapacité des non goulets peut être utilement utilisée en temps de réglage pour flexibiliser ceux-ci.

Question n° 2

Quand on souhaite parvenir à une amélioration de la fiabilité des machines par mise en place d'une maintenance préventive, sur quelle machine le fait-on *a priori* dans une démarche traditionnelle ? Pourquoi ? Et dans une démarche de gestion par les contraintes ? Pourquoi ?

Dans une logique traditionnelle, on choisira une machine fréquemment en panne, même si ce n'est pas le goulet, pour améliorer sa fiabilité. Dans une logique de type gestion par les contraintes, on choisira d'effectuer l'action de maintenance préventive sur le ou les goulets même s'ils ne sont pas souvent en panne. L'objectif étant là aussi de gagner du temps de production, donc de gagner en capacité.

On peut ainsi conclure :

Une heure gagnée sur un non goulet n'est qu'un leurre.

Toute la démarche que nous venons d'appliquer dans des situations de diminution des temps de réglage ou d'amélioration de la fiabilité est parfaitement utilisable pour toutes les autres actions préconisées par la philosophie du *Lean manufacturing*. Mais ces actions doivent être revues à la manière de la gestion par les contraintes et en privilégiant les goulets.

Les goulets ont une importance fondamentale. En effet, observons le graphique 6.24 où chaque entonnoir schématise un poste de production.

Figure 6.24 – Ligne de production schématisée par une suite d'entonnoirs représentant les postes de production

Le niveau d'eau dans chaque entonnoir représente bien évidemment la charge du poste et le diamètre d'ouverture représente la capacité de production du poste. On peut observer, dans ce graphique, que le poste X qui est le goulet (il a la plus faible capacité et ne permet pas de répondre à la demande du marché) contraint tous les autres postes et impose le niveau de stocks de ceux-ci.

Les goulets déterminent à la fois le débit de sortie et les niveaux de stocks.

Les goulets sont donc les contraintes à partir desquelles il faut piloter la production.

3.6. Les autres axes du pilotage des ateliers par les contraintes

3.6.1. La notion de lot de transfert, la notion de lot de fabrication

Bien souvent dans les ateliers, on a tendance à confondre les notions de lot de transfert et de lot de fabrication :

- le lot de transfert est la quantité qui est transférée d'un poste à un autre ;
- le lot de fabrication est la quantité de pièces bonnes produite entre deux changements de série.

Considérons la ligne de production de la figure 6.25.

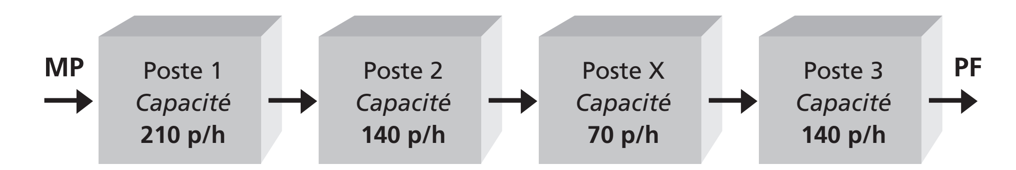


Figure 6.25 – Ligne de production ayant un goulet

Examinons les deux diagrammes de Gantt représentés sur les figures 6.26 et 6.27.

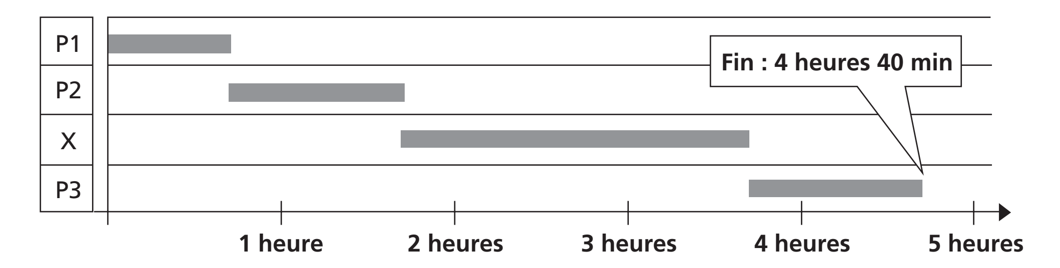


Figure 6.26 – Diagramme de Gantt n° 1

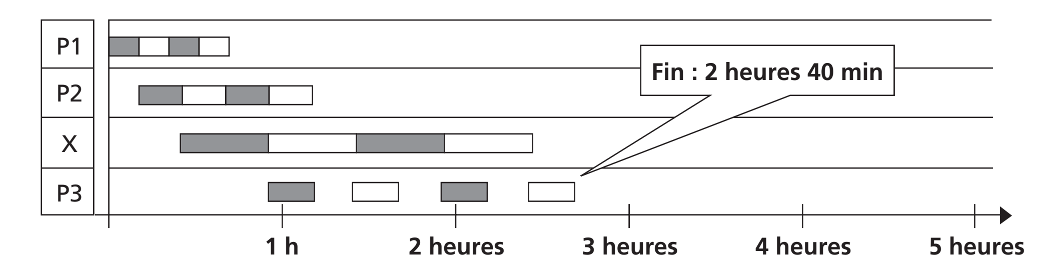


Figure 6.27 – Diagramme de Gantt n° 2

Quelles différences existe-t-il entre ces deux situations ?

- Dans la première situation, le lot de production est égal à 140 pièces et le lot de transfert également.
- Dans la seconde situation, le lot de production reste égal à 140 pièces alors que le lot de transfert n'est que de 35 pièces. Cette situation permet de gagner un temps non négligeable, uniquement en réalisant certaines opérations en parallèle. On n'a pas effectué ici de démarche de type SMED ou autre.

Souvent le lot de transfert ne doit pas être égal au lot de production.

Si on applique cette idée, elle conduit à rechercher dans les ateliers des lots de transfert les plus faibles possible : pièce à pièce, comme dans l'industrie automobile, est la situation idéale. Mais cela nécessite une excellente organisation, une excellente implantation et une grande fiabilité des fournisseurs.

3.6.2. La détermination des tailles des lots de fabrication dans une gestion par les contraintes

Quand on cherche à déterminer la taille des lots de fabrication dans l'entreprise, on applique en général une démarche proche de la démarche de la quantité économique avec tous les problèmes que l'on connaît. On recherche, en effet, une taille de lot qui permette de rentabiliser le coût du réglage effectué pour réaliser la fabrication.

Dans cette situation, prenons l'exemple caricatural suivant : si un client commande à un fabricant 50 vis d'un type particulier, celui-ci, pour rentabiliser son réglage, en fabrique 100 et en stocke 50. Que deviendront les 50 vis stockées ?

Pendant qu'il fabrique les 50 vis non demandées, d'autres clients passent des commandes qui, elles, ne sont pas satisfaites dans les délais.

Par ailleurs, la taille de lot retenue continuera d'être utilisée sans modification chaque fois que l'on aura à fabriquer ce produit.

Cette situation est aujourd'hui utilisée par toutes les entreprises qui utilisent des logiciels de GPAO de type MRP, c'est-à-dire plus de 80% des entreprises européennes.

Or, il ne peut y avoir ajustement entre la taille de lot et la quantité demandée que si les temps et donc les coûts de réglages sont très faibles et si le système de gestion informatique de l'entreprise fonctionne en *lot for lot*, c'est-à-dire en taille de lot = besoin net.

Le système de gestion par les contraintes préconise un système où les lots de fabrication doivent être variables.

3.6.3. La détermination des délais de fabrication

Quand on cherche à déterminer le temps de fabrication d'un lot de pièces sur un poste de production, on utilise en général les composantes suivantes :

- temps de préparation du poste (P) ;
- temps gamme d'exécution pour une pièce (U) ;
- quantité de pièces dans le lot (Q) ;

- temps d'attente moyen estimé du lot de pièces avant passage sur le poste de production (A) ;
- temps de déplacement moyen estimé d'un poste à un autre (D).

On a alors le temps de fabrication sur le poste (F) :

$$\mathbf{F = P + Q \times U + A + D}$$

Ce temps, estimé une fois pour toutes, est inséré dans le logiciel de gestion de production et tous les calculs d'ordres de fabrication sont effectués avec ce temps-là.

Le temps réel de fabrication, quant à lui, est différent du temps estimé F. Il est en particulier fonction des contraintes du système de fabrication : panne, opérateur absent, dérive de la machine… Les contraintes sont différentes d'un moment à l'autre, d'un jour à l'autre.

Dans une gestion traditionnelle par MRP, on fige un délai estimé qui ne correspond en rien aux contraintes du système de production à un instant donné.

Cela est absurde et la gestion par les contraintes préconise d'établir les programmes en prenant en compte toutes les contraintes simultanément, les délais de fabrication étant le résultat d'un programme et ne pouvant être prédéterminés.

3.6.4. La gestion de l'entreprise

Dans ce domaine, la gestion par les contraintes nous fait observer que la somme des optimums locaux n'est pas l'optimum du système global. Dans une entreprise, on peut dire que ce n'est pas parce que chaque personne, chaque atelier, chaque service de l'entreprise est efficace, que l'on a une entreprise globalement efficace.

Il faut chercher à faire en sorte que dans l'entreprise toutes les personnes travaillent dans un but commun, la stratégie de l'entreprise, et tirent l'entreprise dans le même sens.

Pour cela, deux éléments sont indispensables et décisifs, source de l'optimum du système global. Il s'agit du déploiement stratégique et du travail commun. Il est surprenant d'observer que dans de nombreuses entreprises, peu de personnes connaissent ce que la stratégie globale de l'entreprise signifie à leur niveau de chef d'atelier, d'agent de maîtrise, de responsable de processus ou de simple opérateur. Or, on ne peut motiver les personnes qu'en leur précisant les

objectifs qui leur sont assignés. Par ailleurs, il est important que les forces vives de l'organisation travaillent ensemble pour converger vers un but commun défini par la stratégie déployée. Prenons un exemple classique. Imaginons deux services d'une entreprise : le service achats et le service production. Imaginons que chacun de ces deux services recherche son efficacité individuelle, que va-t-il se passer ?

Le service achats va chercher à minimiser ses coûts d'achats pour faire économiser de l'argent à l'entreprise et pourra se targuer d'avoir fait économiser des sommes importantes. Mais les conséquences pour la production seront dramatiques : les composants achetés à bas prix présenteront sans doute des problèmes de non-qualité, de non-respect des délais, des quantités… qui finalement coûteront beaucoup plus cher que les économies réalisées par les achats.

3.7. Mise en œuvre de la gestion d'atelier par les contraintes

3.7.1. Les étapes préalables

La formation du personnel

La gestion d'atelier par les contraintes se traduisant par une conception de l'entreprise très différente de la conception traditionnelle, il est tout à fait souhaitable de commencer par former ou au moins informer le personnel de la nouvelle manière d'appréhender les problèmes dans l'entreprise. Cette formation doit se faire à tous les niveaux hiérarchiques, y compris les opérateurs qui vont être les utilisateurs directs de la méthode.

Les actions de progrès

On retrouve ici toutes les actions préconisées par la philosophie du *Lean Manufacturing* mais appréhendées sous l'angle de la gestion par les contraintes. Nous avons déjà précisé précédemment la manière d'envisager le SMED et la maintenance préventive par les goulets ; nous allons maintenant décrire simplement la manière d'envisager les contrôles qualité sur les goulets.

Dans une démarche juste-à-temps, on cherche à développer l'autocontrôle et la maîtrise des procédés de manière à empêcher que la non-qualité se génère.

Si l'on applique ces concepts dans une démarche par les contraintes, cela va se traduire de la manière suivante :

- on va tout d'abord effectuer des contrôles qualité sur la machine qui précède le goulet, pour ne faire passer sur le goulet que des pièces bonnes et ne pas lui faire perdre de la capacité sur des pièces déjà mauvaises ;

- on va ensuite développer la recherche de la maîtrise des procédés sur le poste goulet et sur tous les postes qui le suivent dans la ligne de production, sur le poste goulet pour qu'il ne perde pas de la capacité à fabriquer des pièces mauvaises et sur les autres postes pour que les pièces bonnes issues du goulet ne soient pas abîmées par des opérations d'usinage ultérieures ou des opérations d'assemblage avec des pièces mauvaises ;
- sur tous les autres postes de la ligne, tous les postes qui précèdent le poste précédant le goulet, on n'a pas besoin d'une action particulière à court terme en qualité puisqu'ils ont une capacité suffisante pour compenser la fabrication de rebuts.

Toutes les actions de progrès de type *Lean* ou non doivent donc être envisagées selon l'aspect goulet.

3.7.2. La détection des goulets

Il y a différents moyens de détecter les goulets dans un atelier :

- une machine dont les stocks situés en amont sont importants est très probablement un goulet. Cependant, les stocks liés à une machine ne sont pas toujours situés à proximité de celle-ci, pour des raisons d'encombrement ;
- si l'on recherche les produits finis qui sont livrés constamment avec du retard, on constate bien souvent qu'ils sont fabriqués sur… une ou plusieurs machines goulets.

Exemple

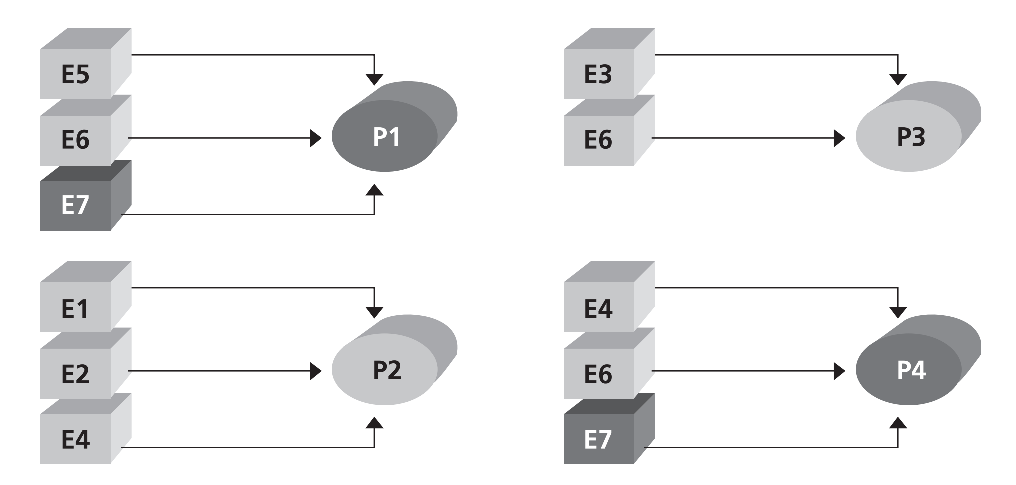


Figure 6.28 – Détection des goulets

Une entreprise fabrique quatre produits P1, P2, P3 et P4 à partir de pièces fabriquées par l'entreprise E1, E2, E3, E4, E5, E6 et E7 (figure 6.28).

Les produits P1 et P4 ne sont jamais livrés dans les délais. Où se situent donc le ou les goulets ?

On constate que P1 et P4 ont deux composants communs E6 et E7. Mais P3 a lui aussi comme composant E6 et il n'est pourtant jamais livré en retard. Aucun autre produit fini n'a comme composant E7. On peut donc raisonnablement supposer que E7 est fabriqué sur une machine goulet !

Cet exemple est un peu simpliste, mais il donne quand même une idée de la démarche à suivre.

On peut être amené à penser que, de toute façon, les goulets changent de place dans l'entreprise en fonction de la demande du moment et donc de la production du moment. Cela est vrai pour des entreprises qui ont des productions très différenciées et à durée de vie extrêmement courte. Pour toutes les autres, les goulets sont stables.

À partir du moment où les goulets sont repérés, il est nécessaire de leur appliquer les règles que nous avons développées précédemment :

- utiliser les goulets à plein rendement ;
- protéger les goulets ;
- gagner des heures de production sur les goulets ;
- utiliser les temps disponibles des non goulets ;
- …

Mais ces règles n'ont pour but que de fonctionner le moins mal possible pendant la période où l'on n'est pas encore capable d'éliminer les goulets ; puisque le but ultime doit bien évidemment être d'éliminer les goulets ! Mais on peut imaginer que dans une entreprise en bonne santé économique où la croissance est de mise, l'élimination d'un goulet va se traduire par la création d'un autre ailleurs, à gérer lui aussi et ainsi de suite. La gestion par les goulets est donc une quête quasi permanente !

3.7.3. Le pilotage de l'atelier par les contraintes

Il existe un type d'organisation d'atelier par les contraintes, comme il existe un type d'organisation Kanban (voir chapitre 13 : Le pilotage d'atelier en flux tirés par la méthode Kanban).

L'existence d'un goulet dans une ligne de production a les conséquences suivantes :

- la production est déterminée par la capacité du goulet ;
- il se crée devant le goulet un stock généralement impossible à résorber, sauf en arrêtant périodiquement l'ensemble des machines situées en amont du goulet.

Pour éviter l'existence de ce stock, la gestion par les contraintes propose un système d'information liant les approvisionnements ou la ressource située le plus en amont sur la ligne à la ressource goulet.

La quantité de matières premières approvisionnée ou la fabrication du premier poste de la ligne sera égale à la quantité qui pourra être traitée par le goulet, du fait de sa capacité limitée.

Ce système d'information peut être matérialisé de différentes manières, par exemple comme le Kanban, par une circulation d'étiquettes, mais circulant uniquement entre le poste goulet qui réalise l'appel de l'aval, et le premier poste de la ligne ou les approvisionnements.

3.8. Synthèse

La méthode de pilotage de l'atelier par les contraintes utilise de nombreux concepts d'autres philosophies ou d'autres méthodes comme le *Lean Manufacturing*, MRP2 ou l'ordonnancement classique, mais en les exploitant à la manière de la gestion par les contraintes. Les grands principes se résument par les items suivants :

- il faut donc chercher à équilibrer le flux et non les capacités ;
- le niveau d'utilisation d'un non goulet n'est pas déterminé par son propre potentiel, mais par d'autres contraintes du système ;
- l'utilisation et le plein-emploi d'une ressource ne doivent donc pas être synonymes ;
- une heure perdue sur un goulet est une heure perdue pour tout le système ;
- une heure gagnée sur un non goulet n'est qu'un leurre ;
- les goulets déterminent à la fois le débit de sortie et les niveaux de stocks.
- souvent le lot de transfert ne doit pas être égal au lot de production.

La démarche que nous avons étudiée est utilisable dans toutes les entreprises de production quel que soit leur secteur d'activité. Cette démarche est parfaitement complémentaire et tout à fait utilisable en même temps qu'une démarche *Lean* et qu'une planification de type MRP2.

Dans la démarche de pilotage des ateliers par les contraintes, l'objectif de court terme est bien entendu de gérer au mieux les ateliers en connaissant leurs problèmes, donc en pilotant grâce à la connaissance des goulets. L'objectif de long terme est de supprimer les goulets. Il serait stupide de continuer longtemps sans pouvoir répondre à la demande, donc de perdre des parts de marché.

Nous n'avons étudié ici qu'une petite partie du management par les contraintes, fondée sur le pilotage d'atelier. Mais d'autres aspects de management plus globaux existent, et en particulier une réflexion sur la mesure de la performance de l'entreprise.

4. Les bonnes pratiques

4.1. Pas d'ordonnancement sans planification amont

Par le passé, certaines sociétés qui distribuaient des logiciels d'ordonnancement indiquaient que l'on pouvait utiliser leur logiciel sans nécessité d'avoir une GPAO pour planifier la production. L'argument était qu'il suffisait d'entrer dans le logiciel d'ordonnancement l'ensemble des ordres de fabrication découlant du carnet de commandes client et que le système se chargerait de tout ! C'est évidemment une grave erreur. On ne peut pas faire de l'ordonnancement sans planification globale puis détaillée, au préalable (MRP2). La planification permet de donner des dates de début et de fin à chaque ordre de fabrication engendré par les ventes du carnet de commandes mais aussi par les prévisions de ventes et de plus, les différents calculs des charges (globales et détaillées) vont permettre de dimensionner l'outil de production (capacité). Sans GPAO ou ERP, l'ordonnancement est nécessairement une catastrophe…

4.2. Complexité et simplification de l'ordonnancement

On a pu voir, notamment à travers l'exemple d'ordonnancement, qui ne concernait pourtant que 4 OF et 5 machines, que les techniques d'ordonnancement sont complexes et peu stables (à cause des aléas). La durée de vie d'un ordonnancement ne dépasse pas quelques heures. Il faut donc réordonnancer sans cesse, et finalement cette activité devient vite chronophage. Traditionnellement, l'ordonnancement est une activité centralisée (un service ou un responsable par atelier de production). Si l'on arrive à simplifier les processus de production avec des îlots de production et des mises en ligne (voir chapitre 14 : L'implantation d'atelier), alors il devient possible de simplifier l'ordonnancement à tel point que l'on peut supprimer le service central

« ordo » et décentraliser celui-ci : c'est-à-dire confier la gestion des priorités directement aux opérateurs.

- Première technique : mise en place de boucles Kanban avec des index sur le planning Kanban pour aider l'opérateur à décider du moment où il doit faire les changements de série (voir chapitre 13 : Le pilotage d'atelier en flux tirés par la méthode Kanban).
- Seconde technique : mise en place de tableaux Heijunka dans les îlots de production qui matérialisent un ordonnancement récurrent figé pour au moins plusieurs semaines avec possibilité de moduler localement la capacité, et avec des plages pour traiter les retards et les produits non standards (voir chapitre 11 : L'entreprise en mouvement avec le *Lean*).

Dans ces nouvelles organisations, les anciens responsables « ordo » deviennent responsables du paramétrage des Kanban ou alors du suivi et de l'évolution des tableaux Heijunka.

4.3. Flux poussé *versus* flux tiré

Deux grands modes de gestion des flux sont possibles :

- le flux poussé : il s'agit de la planification détaillée MRP avec sa gestion traditionnelle d'atelier. Ce sont les prévisions de ventes et les calculs de besoins sur tous les niveaux de nomenclature qui conduisent à des lancements en fabrication, et qui donc « poussent » les articles achetés puis fabriqués dans l'entreprise jusqu'à ce qu'ils arrivent en stock de produits finis. On produit ce que l'on prévoit de vendre ;
- le flux tiré : il s'agit, cette fois, de ne produire que ce que l'on a vendu. C'est la demande externe (les ventes) qui « tire » la production de produits finis et c'est la demande interne, provoquée par la production des produits finis, qui « tire » la production des composants.

Il est évident que le choix du flux poussé engendre un risque de rupture de stock ou de surstockage de produits finis. Le risque de rupture est couvert par la mise en place de stocks de sécurité qui aggrave le surstockage. Le choix du flux tiré est très bon car il permet de limiter les stocks, pour autant que l'on ait un outil de production flexible, rapide, sans panne, avec de bons niveaux de qualité.

L'organisation en flux tirés ne dispense pas pour autant de garder les modules de la planification détaillée (et aussi les modules de la planification globale : voir chapitre 7). Seul le module d'ordonnancement pourra être remplacé (par du Kanban par exemple).

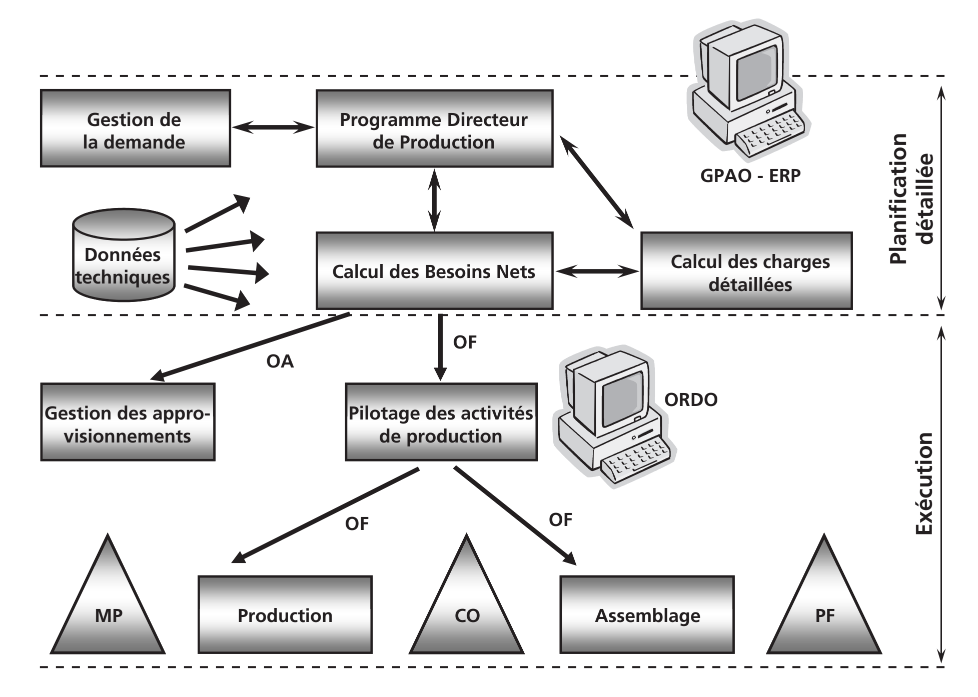


Figure 6.29 – Flux poussés

La planification détaillée permettra :

- de planifier la plupart des approvisionnements car il est assez rare de pouvoir mettre en place du flux tiré jusque chez les fournisseurs ;
- de planifier les fabrications des produits qui ne se prêtent pas à la mise en flux tirés (demande trop erratique, etc.) ;
- d'avoir une idée de la consommation future de chaque composant géré en flux tiré pour paramétrer leur gestion (calculer le nombre d'étiquettes Kanban à mettre dans la boucle) ;
- de calculer les charges des différents moyens de production, pour finalement dimensionner l'outil de production de façon à ce que le moment venu on ait la capacité de fabriquer tous les produits que les clients vont nous commander.

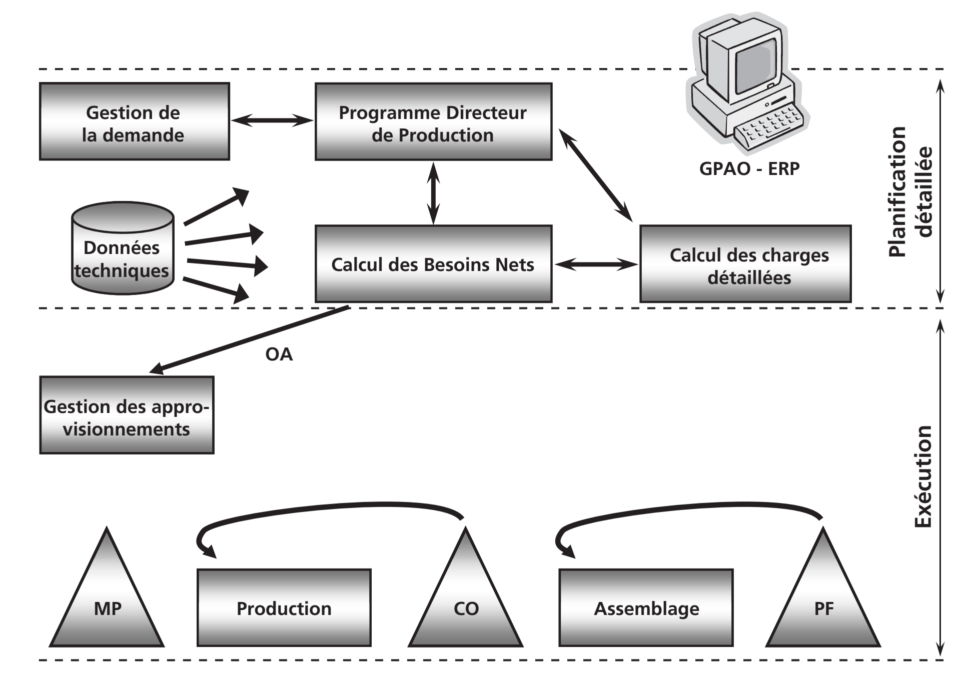


Figure 6.30 – Flux tirés

5. Conclusion

Nous avons vu dans ce chapitre que le pilotage des activités de production (PAP) est l'activité destinée à piloter l'exécution des ordres de fabrication qui ont été planifiés auparavant dans la partie supérieure de MRP. Il s'agit d'une activité à court terme qui utilise des règles de priorité et nécessite, la plupart du temps, un logiciel spécifique qui permet d'élaborer les plannings en prenant en compte toutes les contraintes.

Nous avons vu, dans un premier temps, la gestion d'atelier traditionnelle que l'on appelle aussi « ordonnancement », puis dans un second temps, la gestion d'atelier par les contraintes qui se fonde sur l'identification et le pilotage des postes goulots.

L'approche *Lean Manufacturing* permet souvent de simplifier les processus de production permettant ensuite de piloter la production plus simplement (Kanban, Heijunka, etc.).

Chapitre 7

Planification globale

1. Introduction

La planification globale a des objectifs différents de la planification détaillée. En effet, ici, il ne s'agit pas de programmer les commandes fournisseurs ou les OF à lancer dans les semaines futures, mais plutôt de tenter de réfléchir à la capacité de production qui sera nécessaire dans les prochains mois et donc aux investissements et aux embauches qu'il faudra prévoir ainsi qu'au niveau de stock global de l'usine. L'horizon n'est donc pas le même, et les décisions prises non plus. La planification globale s'adresse aux différents directeurs d'une entreprise, alors que la planification détaillée concerne les gestionnaires de production.

Dans les entreprises qui proposent une grande variété de produits finis, il n'est pas possible de planifier les investissements et les embauches futures en se servant uniquement de la planification détaillée (PDP + CBN) et cela pour plusieurs raisons :

- il y a trop de références de produits finis, et pour les directeurs, il est impossible d'étudier la planification de chaque produit fini pris individuellement et cette profusion de données empêche la prise de décision ;
- le PDP a un horizon trop court (deux fois le délai cumulé comme indiqué dans le chapitre 5 : Planification détaillée), ce qui ne permet pas de se projeter assez loin dans le futur pour anticiper certains investissements (achat d'une machine spéciale, mise en place d'une nouvelle ligne de production, agrandissement du bâtiment).

On voit donc qu'il y a besoin d'un module, dont l'objectif sera de planifier à long terme l'activité future de l'entreprise, de façon assez globale, afin de ne pas noyer les directeurs sous les chiffres : il s'agit du plan industriel et commercial (PIC) qui s'appelle en anglais *Sales & Opérations Plan* (S & OP).

2. Le plan industriel et commercial (PIC)

Son objectif est de permettre un cadrage global de l'activité, établi par famille de produits. Ce cadrage facilite l'orientation de l'allocation des ressources clés de l'entreprise qui peuvent être : la main-d'œuvre, la capacité machine, les approvisionnements longs, les heures de bureau d'études…

Le plan industriel et commercial permet d'anticiper globalement les problèmes potentiels, notamment une inadéquation entre la capacité de l'entreprise et la charge induite par les besoins commerciaux. La prise de décision anticipée permet d'assurer, à un niveau global, le service client souhaité.

La maîtrise du PIC impose un nombre limité de familles (moins de 15). Le caractère global se retrouve dans la taille des périodes utilisées : le mois et même le trimestre (au-delà de un an). L'horizon dépend du délai total des produits, du délai d'acquisition des équipements… et sera de douze mois à trois ans, ou plus s'il le faut.

L'unité employée doit pouvoir représenter de façon homogène les produits finis de la famille et être bien comprise des acteurs du PIC. Là encore, elle doit être suffisamment globale : tonne, heures standards, coût de revient… Une unité souvent utilisée et qui se justifie à ce niveau de management de l'entreprise, est l'euro ou le millier d'euros (K€).

Le PIC est généralement revu au cours d'une réunion mensuelle entre direction générale et directeurs opérationnels. Les acteurs principaux sont les directions commerciale, industrielle et logistique. C'est une rencontre essentielle, car elle permet à la fois de faire le point sur le fonctionnement passé de l'entreprise et de prendre des décisions importantes sur le fonctionnement futur de celle-ci. Elle nécessite donc la présence de tous les acteurs cités.

2.1. Établissement du PIC

Le PIC est un contrat global entre le service production et le service commercial. La démarche repose sur l'établissement de prévisions de vente et de production pour chaque famille de produits finis :

- la responsabilité des prévisions de vente incombe naturellement au service commercial. Remarquons que les prévisions portant sur des familles plutôt que des produits finis individuels et des périodes relativement longues, ont une meilleure précision ;
- les prévisions de production sont du ressort du service production. Elles constituent l'expression de la capacité future de production pour cette famille de produits compte tenu des investissements en cours, des ressources humaines actuelles et futures. Il est important que les prévisions de production tiennent compte des possibilités réelles de production de l'entreprise.

La logique de calcul du PIC conduit à définir le stock disponible à chaque fin de période en fonction du stock du début de la période et des ventes, et de la production de cette période. Tout l'enjeu de la planification globale sera d'éviter un stock trop bas, qui ne permettrait pas de garantir le service client pour chaque référence de produits finis, et un stock trop haut, qui serait trop coûteux pour l'entreprise. L'entreprise est donc amenée à définir un objectif de stock ; celui-ci est un compromis entre plusieurs intérêts contradictoires :

- le souhait du service commercial de disposer d'un stock suffisamment important afin d'assurer un bon service client ;
- l'objectif économique de l'entreprise, cherchant à minimiser l'immobilisation financière ;
- les possibilités de la production ne permettant pas de suivre les variations brutales de la demande, et l'obligeant à lisser la charge. Notons que cet objectif peut être figé pour tout l'horizon de planification, mais qu'il peut aussi être différent selon les périodes de l'année.

Le document du PIC (figure 7.1) comporte trois tableaux : ventes, production et stocks. Par ailleurs, il existe sur chacun de ces tableaux, à gauche, une partie « passé » où nous trouverons des valeurs réelles issues des historiques sur plusieurs mois et, à droite, une partie « futur » où ne figureront que des prévisions pour un horizon généralement supérieur à douze mois. En ce qui concerne le passé, des indicateurs de performance permettent de comparer les prévisions et le réel. Ici, par exemple, sont mentionnés les écarts « Réel-Prévisionnel » et un écart en pourcentage (attention, pour le stock, il s'agit d'un écart « Réel-Objectif » et du pourcentage par rapport à l'objectif). En outre, en bas et à droite, figure l'objectif de stock pour cette famille avec une tolérance (mini et maxi).

PIC	Famille :	Unité :	Date : 3 janvier

Ventes	Oct.	Nov.	Déc.	Jan.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin
Prévisionnelles									
Réelles									
Écart									
Écart en %									

Production	Oct.	Nov.	Déc.	Jan.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin
Prévisionnelle									
Réelle									
Écart									
Écart en %									

Stock	Oct.	Nov.	Déc.	Jan.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin
Prévisionnel									
Réel									
Écart/Obj.									mini
Écart/Obj. %				Objectif de stock					
									maxi

Figure 7.1 – Échéancier du PIC

2.2. Exemple de PIC

Nous allons reprendre le cas de l'usine **iTechMedia** qui fabrique 3 modèles de baladeur multimédia. Pour faciliter la planification à long terme, **iTechMedia** raisonne sur la famille des baladeurs. La figure 7.2 illustre l'établissement du PIC de cette famille.

Les baladeurs n'ont pas le même coût de revient en raison du prix d'achat des disques durs qui varie en fonction de leur capacité de stockage, mais le travail d'assemblage réalisé dans l'entreprise est identique pour chaque modèle. C'est pourquoi l'entreprise a décidé de comptabiliser dans le PIC les baladeurs en quantité (et pas en euros).

PIC	Famille : baladeurs iTechMedia	Unité : Quantité	Date : 3 janvier

Ventes		Oct.	Nov.	Déc.	Jan.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin
Prévisionnelles		10000	12200	13800	14700	17100	19800	23000	24000	25000
Réelles		9800	12500	14000						
Écart		– 200	300	200						
Écart en %		– 2,0	2,5	1,4						

Production		Oct.	Nov.	Déc.	Jan.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin
Prévisionnelle		10000	12200	16500						
Réelle		10000	10000	16000						
Écart		0	– 2200	– 500						
Écart en %		0,0	– 18,0	– 3,0						

Stock		Oct.	Nov.	Déc.	Jan.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin
Prévisionnel		2500	2700	2900						
Réel	2500	2700	200	2200						
Écart/Obj.		200	– 2300	– 300					800	mini
Écart/Obj. %		8,0	– 92,0	– 12,0	Objectif de stock			2500		
									5000	maxi

Figure 7.2 – Échéancier du PIC iTechMedia

On notera qu'il a été décidé que le stock minimal serait de 800 baladeurs (cela correspond au stock de sécurité) et qu'il serait bon de ne pas dépasser 5000 baladeurs pour éviter une immobilisation financière importante. Le stock idéal a été fixé à 2500 baladeurs (objectif de stock).

Avant la réunion du 3 janvier les colonnes d'octobre à décembre ont été complétées avec les données historiques des ventes et de la production. L'évolution du stock a été calculée à partir du stock de fin septembre qui était à 2500 baladeurs en utilisant les formules suivantes :

- Stock prévisionnel période n = Stock réel de la période n – 1 + Production prévisionnelle de la période n – Ventes prévisionnelles de la période n ;
- Stock réel période n = Stock réel de la période n – 1 + Production réelle de la période n – Ventes réelles de la période n ;

Donc par exemple :

- Stock prévisionnel d'octobre = 2500 + 10000 – 10000 = 2500
- Stock réel d'octobre = 2500 + 10000 – 9800 = 2700

Pour le mois d'octobre, les indicateurs de performance sont les suivants :

- Pour les ventes : écart = 9800 – 10000 = – 200 soit – 200/10000 = – 2%
- Pour la production : écart = 10000 – 10000 = 0 soit 0/10 000 = 0%
- Pour les stocks : écart/objectif = 2700 – 2500 = 200 soit 200/2 500 = 8%

On remarquera qu'au mois de novembre, il y a eu un souci de production car seulement 10000 baladeurs ont été fabriqués au lieu des 12200 qui avaient été prévus. Le stock de baladeurs s'est donc effondré en fin de mois (200) passant nettement en dessous du stock de sécurité. Lors de la réunion du PIC de début décembre, le directeur de production a dû expliquer que cette baisse de la production avait été la conséquence d'une panne de deux postes de contrôle automatique et d'un problème d'absentéisme d'une personne difficilement remplaçable sur les presses à injecter. Lors de la réunion du PIC, des actions correctives ont été décidées pour pallier ce problème :

- action curative : tout d'abord il a été décidé d'augmenter la production du mois de décembre à 16500 baladeurs pour faire remonter le stock (finalement, fin décembre, ce sont 16000 baladeurs qui ont été fabriqués et le stock est remonté à 2200 baladeurs) ;
- action préventive : pour éviter que ces problèmes n'arrivent à nouveau, il a été décidé de former une personne supplémentaire au maniement des presses à injecter et il est prévu de faire faire une révision des postes de contrôle par le fournisseur pendant le week-end.

Cet incident, et son traitement lors de la réunion du PIC, montre tout l'intérêt de l'analyse des productions et ventes du passé, dans le cadre de l'amélioration continue.

L'examen des trois mois passés montre que la production n'a pas atteint ses prévisions et que le service commercial les a dépassées. Le stock fin décembre (c'est-à-dire le stock actuel) est en dessous de l'objectif que l'entreprise s'est fixé. La réunion du PIC va permettre de décider de la politique de planification à venir, car plusieurs scénarii sont possibles :

Premier scénario

Un plan de production possible consiste à prévoir de produire chaque mois les quantités qui sont prévues pour les ventes. Seul le mois de janvier ne suit pas cette logique car le stock de fin décembre est de 2200 et l'objectif de

stock est de 2500, ce qui explique une production planifiée de 15000 pour une prévision de vente de 14700 ce mois-là.

PIC	Famille : baladeurs iTechMedia	Unité : Quantité	Date : 3 janvier

Ventes	Oct.	Nov.	Déc.	Jan.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin
Prévisionnelles	10000	12200	13800	14700	17100	19800	23000	24000	25000
Réelles	9800	12500	14000						
Écart	– 200	300	200						
Écart en %	– 2,0	2,5	1,4						

Production	Oct.	Nov.	Déc.	Jan.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin
Prévisionnelle	10000	12200	16500	15000	17100	19800	23000	24000	25000
Réelle	10000	10000	16000						
Écart	0	– 2200	– 500						
Écart en %	0,0	– 18,0	– 3,0						

Stock		Oct.	Nov.	Déc.	Jan.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin
Prévisionnel		2500	2700	2900	2500	2500	2500	2500	2500	2500
Réel	2500	2700	200	2200						
Écart/Obj.		200	– 2300	– 300						
Écart/Obj. %		8,0	– 92,0	– 12,0						

		800	mini
Objectif de stock	2500		
		5000	maxi

Figure 7.3 – Premier scénario

Second scénario

Le second scénario prend en compte la particularité du mois de mai et ses nombreux jours fériés. Par expérience, on sait que la production au mois de mai est fortement perturbée et, dans notre cas, la production envisageable ne pourra pas dépasser 20000 baladeurs. Ceci devient donc une contrainte dans l'élaboration du plan de production. La production qui ne pourra pas être faite en mai, il faudra la faire avant ou après. Dans le plan proposé ci-dessous, une partie de cette production sera avancée en février, mars et avril, et une autre partie sera repoussée en juin. Le calcul du stock prévisionnel nous montre que nous ne dépasserons pas les limites maxi et mini fixées.

PIC	Famille : baladeurs iTechMedia	Unité : Quantité	Date : 3 janvier

Ventes	Oct.	Nov.	Déc.	Jan.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin
Prévisionnelles	10000	12200	13800	14700	17100	19800	23000	24000	25000
Réelles	9800	12500	14000						
Écart	– 200	300	200						
Écart en %	– 2,0	2,5	1,4						

Production	Oct.	Nov.	Déc.	Jan.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin
Prévisionnelle	10000	12200	16500	15000	18000	21000	23400	20000	26500
Réelle	10000	10000	16000						
Écart	0	– 2 200	– 500						
Écart en %	0,0	– 18,0	– 3,0						

Stock		Oct.	Nov.	Déc.	Jan.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin
Prévisionnel		2500	2700	2900	2500	3400	4600	5000	1000	2500
Réel	2500	2700	200	2200						
Écart/Obj.		200	– 2 300	– 300					800	mini
Écart/Obj. %		8,0	– 92,0	– 12,0	Objectif de stock			2500		
									5000	maxi

Figure 7.4 – Second scénario

Lors de la réunion du PIC, les différents directeurs doivent peser le pour et le contre de chaque solution et choisir le plan de production qui semble le meilleur pour l'entreprise. Le calcul des charges globales que l'on va voir ci-dessous permet aussi d'aider dans ce processus de choix. Dans le cas de la famille des baladeurs, c'est le second scénario qui est choisi.

Lors de l'établissement du PIC, on peut donc choisir entre deux politiques extrêmes :

- la première, où la production suit les variations des prévisions commerciales avec une nécessité de flexibilité ;
- la seconde où, au contraire, la production est lissée, c'est-à-dire à niveau constant, ce qui entraîne des variations de stock (avec risque de stock élevé à certains moments et risque de rupture à d'autres).

Naturellement, entre ces deux solutions, il est possible de faire un choix intermédiaire permettant de suivre dans une certaine mesure les variations de la demande et en modulant la capacité des ressources de production. C'est ce qui est utilisé dans les entreprises à caractère saisonnier prononcé comme, par exemple, celles fabriquant des matériels de sports d'hiver. On stocke avant la saison malgré une capacité réduite (horaire réduit avec congé), et on accroît la capacité (horaire lourd et embauche d'intérimaires) au moment de la forte demande.

Pour les entreprises qui ne travaillent pas sur stock (qui ne disposent donc pas d'un stock de produits finis), il est possible d'établir un PIC avec la partie « ventes » et la partie « production » et, au lieu de la partie stock, une partie « carnet de commandes ». Alors qu'un stock augmente suite à des productions et baisse suite aux ventes, le carnet de commandes augmente avec les ventes (nouvelles commandes au carnet de commandes) et diminue lorsqu'il y a production (et donc livraison). L'entreprise se fixe alors un objectif de carnet de commandes (pour assurer une charge de travail mensuelle suffisante). Les calculs sont donc différents mais l'exploitation du PIC est la même (analyse du passé et planification pour le futur).

3. Calcul global de charge

3.1. Principe

Pour que le management des ressources de la production donne des résultats applicables au niveau de l'exécution, il est fondamental que, dès le départ, le plan de production issu du plan industriel et commercial soit réaliste par un équilibre entre charge et capacité. Si la charge dépasse la capacité de la ressource considérée, deux solutions extrêmes sont possibles : augmenter la capacité ou diminuer la charge. Et là encore, toute solution intermédiaire est envisageable. On peut remarquer qu'en règle générale, une entreprise préférera d'abord essayer de lisser la charge avant d'augmenter la capacité, car l'augmentation de la capacité engendre un surcoût. Le calcul global de charge sera effectué seulement sur les ressources critiques de l'entreprise (postes goulots ou postes goulets).

En cas de surcharge, différentes actions peuvent être décidées lors de la réunion du PIC, en fonction de la durée de la surcharge. Les actions seront, par exemple :

- la baisse de la charge, grâce au lissage de la charge par anticipation de productions de la période surchargée ;

- des heures supplémentaires ;
- un emprunt de personnel à d'autres ateliers ;
- un transfert d'activité sur d'autres ateliers ;
- une embauche de personnel ;
- de la sous-traitance ;
- un différé d'actions commerciales (promotions) ;
- la mise en place d'équipes de week-end ;
- un achat d'équipements ;
- un achat de machines.

De même, en cas de sous-charge, les actions pourront être :

- une augmentation de la charge grâce au lissage de la charge par anticipation de productions de périodes surchargées plus lointaines ;
- une réduction des heures supplémentaires ;
- des prêts de personnel à d'autres ateliers ;
- un arrêt de contrat de travail temporaire ;
- une limitation de la sous-traitance ;
- une relance d'actions commerciales ;
- une suppression de machines (transfert, revente, arrêt simple) ;
- du chômage technique.

L'horizon suffisamment long du PIC doit permettre de déclencher ces mesures à temps, notamment quand elles demandent une préparation ou une mise en place importante (délai de livraison d'une grosse machine, formation de personnes embauchées).

Remarque : lorsqu'une ressource est utilisée par plusieurs familles de produits, il faudra établir l'équilibre charge/capacité à partir de tous les PIC impliqués.

3.2. Méthode des ratios

La méthode la plus simple et la plus facilement utilisable s'appelle la méthode des ratios. Cette méthode de calcul des charges permet de très vite et très simplement avoir une projection en termes de charge du plan de production envisagé à travers le PIC. Ceci permet de transformer le plan de production en nombre d'opérateurs nécessaires ou en nombre d'heures machine ou atelier.

Premier exemple

Prenons comme exemple l'atelier d'assemblage des baladeurs **iTechMedia**. Une étude a montré qu'une opératrice de l'atelier de montage (qui réalise

l'assemblage puis le contrôle des appareils) réalisait en moyenne 2400 baladeurs par mois sur la base de 35 heures par semaine et 20 jours par mois. Il y a actuellement 6 opératrices dans cet atelier. Ce chiffre de 2400 baladeurs par mois et par opératrice est le ratio qui va permettre d'avoir une projection du nombre d'opératrices nécessaires dans le futur afin d'assurer la production planifiée dans le PIC.

Rappel du plan de production issu du PIC de la famille des baladeurs :

Production	Oct.	Nov.	Déc.	Jan.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin
Prévisionnelle	10000	12200	16500	15000	18000	21000	23400	20000	26500

Figure 7.5 – Rappel du plan de production des baladeurs

Pour calculer le nombre d'opératrices nécessaires dans l'atelier considéré, il suffit d'appliquer le ratio précédent, mais comme les mois n'ont pas le même nombre de jours ouvrés il faut d'abord calculer le ratio journalier : 2400/20 = 120 baladeurs par jour et par opératrice.

Le tableau 7.6 donne d'abord le nombre de baladeurs qui pourront être fabriqués dans le mois par une opératrice compte tenu du nombre de jours ouvrés du mois. Ensuite, on peut diviser la production planifiée par cette production mensuelle pour obtenir le nombre d'opératrices.

	Jan.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin
Plan de production issu du PIC	15000	18000	21000	23400	20000	26500
Nombre de jours ouvrés	21	20	23	21	17	22
Production mensuelle d'une opératrice	2520	2400	2760	2520	2040	2640
Nombre d'opératrices	5,95	7,50	7,61	9,29	9,80	10,04

Figure 7.6 – Calcul du nombre d'opératrices

Pour janvier, par exemple, on a 21 jours ouvrés, donc une opératrice peut faire 21 × 120 = 2520 baladeurs dans le mois. Comme la production planifiée est de 15000 baladeurs, il faudra alors 15000/2520 = 5,95 c'est-à-dire 6 opératrices en janvier.

Comme il n'y a actuellement que 6 opératrices dans l'atelier d'assemblage, le calcul global des charges nous montre donc qu'il va falloir très vite trouver de nouvelles opératrices à partir du mois de février, et que l'on peut demander

au service RH de planifier des embauches et des formations pour arriver progressivement à 10 opératrices dans cet atelier.

Second exemple

Après ce premier exemple de calcul des charges concernant des ressources humaines, nous allons voir l'utilisation que l'on peut en faire concernant la charge machine. Nous allons nous intéresser aux presses à injecter (poste goulot de l'entreprise). Il y a 3 presses qui fonctionnent en 2 équipes (14 heures par jour) dans l'atelier d'injection. Le taux d'utilisation est de 80% (en raison d'opérations de maintenance et d'arrêts divers). Le ratio issu d'un historique de production nous indique que pour l'injection d'un boîtier et d'un couvercle, il faut compter environ 0,031 heure (en comptant le temps de production et aussi le temps de réglage).

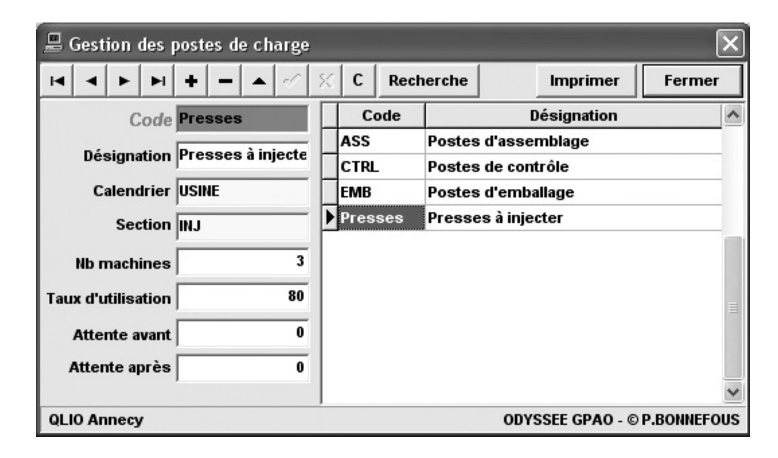


Figure 7.7 – Presses à injecter

	Jan.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin
Plan de production issu du PIC	15000	18000	21000	23400	20000	26500
Charge	480	576	672	748,8	640	848
Nombre de jours ouvrés	21	20	23	21	17	22
Capacité démontrée	705,6	672	772,8	705,6	571,2	739,2
Taux de charge	68,0 %	85,7 %	87,0 %	106,1 %	112,0 %	114,7 %
Surcapacité	225,60	96,00	100,80			
Surcharge				43,20	68,80	108,80

Figure 7.8 – Calcul du taux de charge du centre de charge Presses

Pour janvier par exemple, on a 15000 baladeurs à produire et chaque baladeur engendre une utilisation des presses de 0,031 heure, donc la charge mensuelle sera de 15000 × 0,031 = 480 heures. La capacité démontrée de janvier est égale à 21 jours × 14 heures/jour × 3 presses × 80% = 705,6 heures. Le taux de charge est donc de 480/705,6 = 68% et la surcapacité est de 705,6 – 480 = 225,6 heures.

Ce calcul peut servir éventuellement à retoucher le PIC pour lisser la charge ou alors à décider d'une mesure d'augmentation de la capacité. C'est ce que nous allons faire ici, car rappelons que le plan de production de ce PIC a déjà anticipé des productions par rapport aux ventes prévues et que le stock au mois d'avril vaut déjà 5000 baladeurs (voir figure 7.4).

La valeur des surcharges peut permettre de calculer le nombre d'heures supplémentaires à prévoir par mois. Il faut bien entendu utiliser le taux de 80% pour obtenir l'horaire d'ouverture supplémentaire afin de faire les heures de production nécessaires. Le calcul des heures supplémentaires par machine et par semaine montre qu'il est possible d'envisager de planifier ces heures supplémentaires le samedi.

	Jan.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin
Surcharge				43,20	68,80	108,80
Heures sup. globales				54,00	86,00	136,00
Heures sup. par machine et semaine				4,50	7,17	11,33

Figure 7.9 – Calcul des heures supplémentaires

3.3. Méthode des macrogammes

La méthode des ratios est très souvent utilisée lorsque l'on gère le PIC avec un tableur, car elle est très rapidement mise en œuvre avec quelques formules. Cependant, les progiciels qui proposent un module PIC (ERP) utilisent souvent des macrogammes pour réaliser le calcul des charges globales.

Une macrogamme est une gamme spéciale qui n'est utilisée que pour le calcul des charges globales, contrairement à une gamme de fabrication qui, elle, permet de définir et de suivre la production, et aussi de calculer les coûts de revient et de calculer les charges détaillées (voir chapitre 2 : Données techniques et chapitre 5 : Planification détaillée).

La macrogamme ne contiendra que les opérations réalisées sur les postes goulots ou critiques de l'entreprise et mentionnera pour chacune de ces opérations

le temps unitaire moyen correspondant à la production d'un produit fini de la famille (le ratio précédent).

Exemple de macrogamme pour la famille des baladeurs **iTechMedia** :

Opération	Centre de charge	TU
Assemblage	ASS	0,06 h
Injection	Presses	0,031 h

Figure 7.10 – Macrogamme associée aux baladeurs

On remarquera que l'injection plastique n'est pas une opération réalisée lors de l'assemblage des baladeurs, mais que c'est une opération sur les composants des baladeurs (Boîtier et CouvB). Ceci montre que les opérations dans une macrogamme proviennent de la gamme du produit fini mais aussi des gammes des composants de ces produits finis, avec prise en compte des coefficients de nomenclatures si besoin.

Le progiciel utilise les macrogammes pour transformer le plan de production issu du PIC en heures de charge et présente les résultats sous la forme d'un plan de charge, en prenant en compte la capacité démontrée des centres de charge.

3.4. Conclusion

Ces méthodes de calcul des charges globales dites « méthode des ratios » ou « méthode des macrogammes », permettent très vite et très simplement d'avoir une projection en termes de charge du plan de production envisagé. Ceci permet soit de remettre en cause le plan de charge (lissage), soit de prévoir les mesures d'augmentation de la capacité (embauches, heures supplémentaires…). Les ratios utilisés seront réactualisés une à deux fois par an selon la variation observée dans l'entreprise.

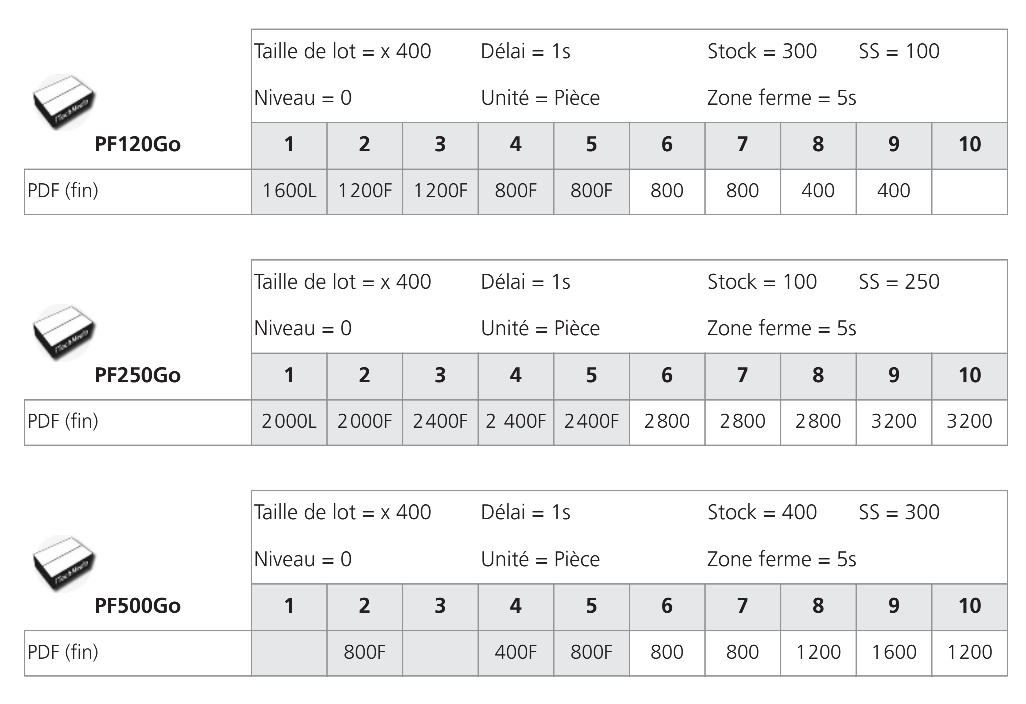
4. Cohérence PIC/PDP

Comme nous venons de le voir, ce sont les différents directeurs de l'entreprise qui, lors de la réunion mensuelle du PIC, planifient globalement la production des familles de produits finis. En revanche, la gestion quotidienne de ces mêmes produits finis est assurée par des gestionnaires de production à l'aide du PDP et du calcul des besoins (voir chapitre 5 : Planification détaillée). Si

l'on utilise Excel pour la planification globale et que l'on utilise une GPAO pour la planification détaillée, alors il faudra vérifier qu'il y a cohérence entre les programmes de fabrication des produits finis d'une famille (PDP) et le plan de production global de cette famille (PIC).

Les PDP étant réalisés sous contraintes (taille de lot, rebuts, retards…) on ne peut pas demander une cohérence parfaite, et c'est pourquoi on fixe généralement une tolérance (par exemple +/– 5%).

Dans le cas de **iTechMedia** nous avons vu, dans le chapitre 5, les PDP pour les 10 prochaines semaines et le PIC pour les 6 prochains mois. Nous allons calculer l'écart PIC-PDP de façon à voir si les PDP sont cohérents avec le PIC.



	Taille de lot = x 400			Délai = 1s			Stock = 300		SS = 100	
	Niveau = 0			Unité = Pièce			Zone ferme = 5s			
PF120Go	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**
PDF (fin)	1600L	1200F	1200F	800F	800F	800	800	400	400	

	Taille de lot = x 400			Délai = 1s			Stock = 100		SS = 250	
	Niveau = 0			Unité = Pièce			Zone ferme = 5s			
PF250Go	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**
PDF (fin)	2000L	2000F	2400F	2 400F	2400F	2800	2800	2800	3200	3200

	Taille de lot = x 400			Délai = 1s			Stock = 400		SS = 300	
	Niveau = 0			Unité = Pièce			Zone ferme = 5s			
PF500Go	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**
PDF (fin)		800F		400F	800F	800	800	1200	1600	1200

Figure 7.11 – Rappel du PDP des trois produits finis

Production	**Oct.**	**Nov.**	**Déc.**	**Jan.**	**Fév.**	**Mars**	**Avril**	**Mai**	**Juin**
Prévisionnelle	10000	12200	16500	15000	18000	21000	23400	20000	26500

Figure 7.12 – Rappel de la ligne Production prévisionnelle du PIC

Le mois de janvier est composé des semaines 1 à 4, et le mois de février est composé des semaines 5 à 8. Pour la comparaison PIC-PDP, il a été choisi ici

de comptabiliser les quantités qui se terminent dans le mois (date de fin dans le PDP).

	Janvier	Février
	S1 + S2 + S3 + S4	S5 + S6 + S7 + S8
PIC	15000	18000
PDP	14800	17200
Écart	– 200	– 800
Écart en %	– 1,33 %	– 4,44 %

Figure 7.13 – Cohérence PIC-PDP

Comme les écarts ne sont pas supérieurs à 5% ou inférieurs à – 5%, on considère que le PDP est conforme au PIC et qu'il n'y a rien de spécial à faire. Si l'écart dépasse la tolérance fixée alors le gestionnaire de production doit forcer le PDP à la hausse ou à la baisse, en plaçant des ordres fermes de façon à recaler le PDP par rapport au PIC.

Cette vérification de cohérence PIC/PDP permettra de s'assurer qu'une décision prise par les directeurs au niveau de la famille de produits, sera bien mise en application dans la gestion détaillée des produits finis réalisée par les gestionnaires de production.

Si l'on utilise un ERP et que l'on a mis en œuvre le module PIC, en plus de tous les modules de la planification détaillée (PDP + CBN), alors la cohérence est en général automatique, car une décision de planification au niveau du PIC entraîne, *via* des nomenclatures de planification, une modification des PDP.

5. Les bonnes pratiques

5.1. Quel outil pour faire le PIC ?

Le PIC étant maintenant un standard en gestion industrielle, de nombreux progiciels intégrés (ERP) proposent un module PIC. Ces progiciels permettent de définir des familles avec des nomenclatures de planification qui indiquent les pourcentages que représente chaque produit fini dans la famille. Des automatismes sont mis en place pour impacter automatiquement les besoins en produits finis dès qu'il y a modification du PIC pour une famille de produit. Des calculs de charges globales sont proposés *via* la technique des macrogammes.

Nous avons montré que le PIC pouvait se faire aussi avec des outils informatiques généraux et peu coûteux. Compte tenu du nombre de familles assez restreint, il est tout à fait possible de gérer le PIC et les calculs de charge associés avec un tableur comme Excel, notamment dans le cas d'une petite entreprise.

Même si nous avons indiqué en introduction que seules les grandes entreprises utilisaient le PIC, il semble naturel, après avoir vu les avantages de cette planification à long terme, que le PIC devrait concerner toutes les entreprises, d'autant que nous avons montré que l'outil informatique n'est pas un frein.

5.2. MRP2 et *Lean Manufacturing*

Que devient MRP2 dans l'optique de la production au plus juste ? Il est utopique de vouloir faire réagir toute l'industrie, instantanément, à la moindre demande du client final, créant le besoin indépendant d'Orlicky. Quelle que soit la typologie de ventes de l'entreprise, nous retombons sur les incontournables prévisions commerciales permettant une planification des ressources de l'entreprise en stocks, machines, main-d'œuvre avec évaluation des charges et des capacités. Les Japonais, maîtres dans l'art du *Lean Manufacturing*, estiment qu'il faudrait anticiper à dix ans mais que, devant la difficulté, ils se contentent d'évaluer jusqu'à cinq ans. Évidemment, il s'agit ici de la « tête » de MRP2 (PIC et calcul des charges globales). Il faut souligner l'évolution fondamentale de la méthode dans le cas d'une exécution au plus juste : la planification ne donne qu'une enveloppe estimée au niveau du PIC, puis affinée d'une manière plus solide à plus court terme dans les PDP. L'exécution, quant à elle, n'est plus réalisée sur la base d'une programmation poussée par la planification mais seulement tirée par l'aval. On remarque le lien étroit et indispensable entre planification et exécution, ainsi que le besoin de flexibilité permettant de réagir en temps réel.

6. Conclusion

Dans le chapitre 5, nous avons abordé les maillons inférieurs de la planification, le programme directeur de production, le calcul des besoins et le calcul des charges détaillées. Le plan industriel et commercial (PIC), lui, est situé au plus haut niveau du management des ressources de la production, juste en dessous du plan stratégique de l'entreprise. C'est l'élément de base de la planification élaboré par un dialogue constructif entre les responsables commerciaux, de la production, des achats… et la direction de l'entreprise.

On comprend aisément l'utilité du PIC, outil simple d'utilisation mais puissant, pour établir la planification globale de l'activité. Et son grand intérêt est

de le faire sous la forme d'un contrat entre les responsables des diverses fonctions de l'entreprise. Grâce au PIC, un problème de production qui dégrade le service client ne sera pas imputé aux commerciaux et, à l'inverse, un problème de mauvaise qualité des prévisions de ventes ne sera pas reproché plus tard à la production qui aurait du mal à fournir les produits finis.

6.1. Le management des ressources de la production (MRP2)

Le management des ressources de la production est donc une méthode de planification de l'ensemble des ressources d'une entreprise industrielle. Elle comprend trois niveaux de planification, avec un niveau de détail de plus en plus fin depuis le plan industriel et commercial, en passant par le programme directeur de la production vers le calcul des besoins nets. Cette planification prépare l'exécution (figure 7.14).

La planification est fondée sur une prévision de la demande, indispensable quelle que soit la typologie de vente (sur-stock, assemblage à la commande ou production à la commande) de l'entreprise.

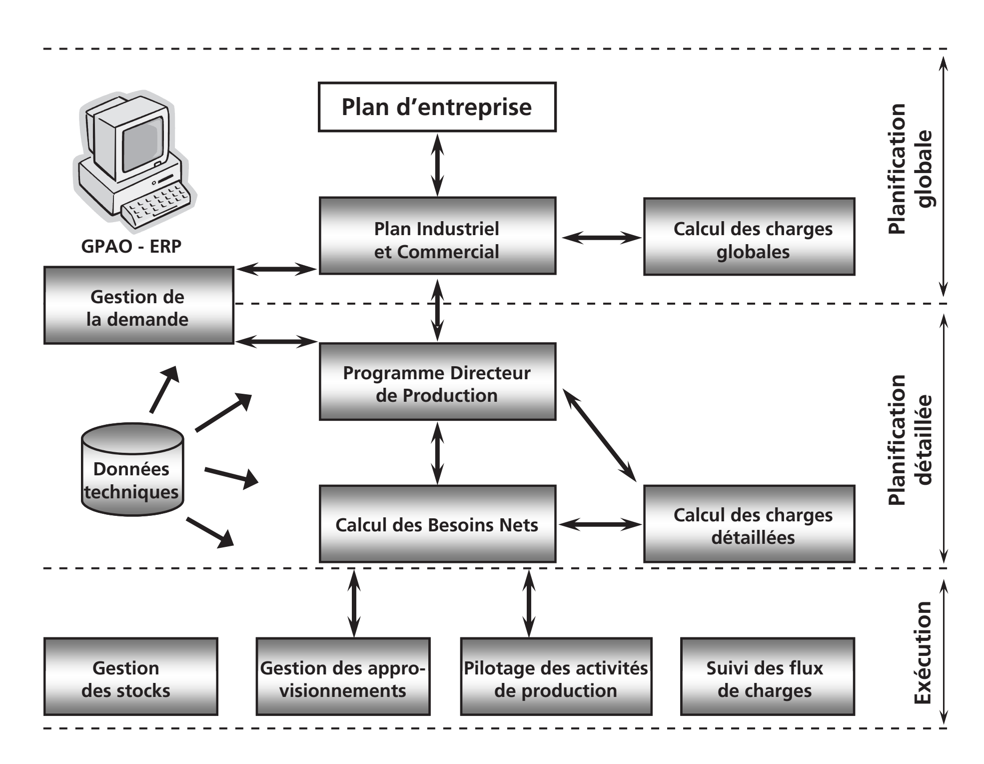


Figure 7.14 – Schéma des modules du management des ressources de la production

Joseph ORLICKY a développé MRP en 1965 mais c'est Oliver WIGHT et George PLOSSL qui ont ensuite transformé, en 1980, MRP en MRP2. On trouvera ci-dessous les noms d'origine anglais des différents modules de la méthode MRP2.

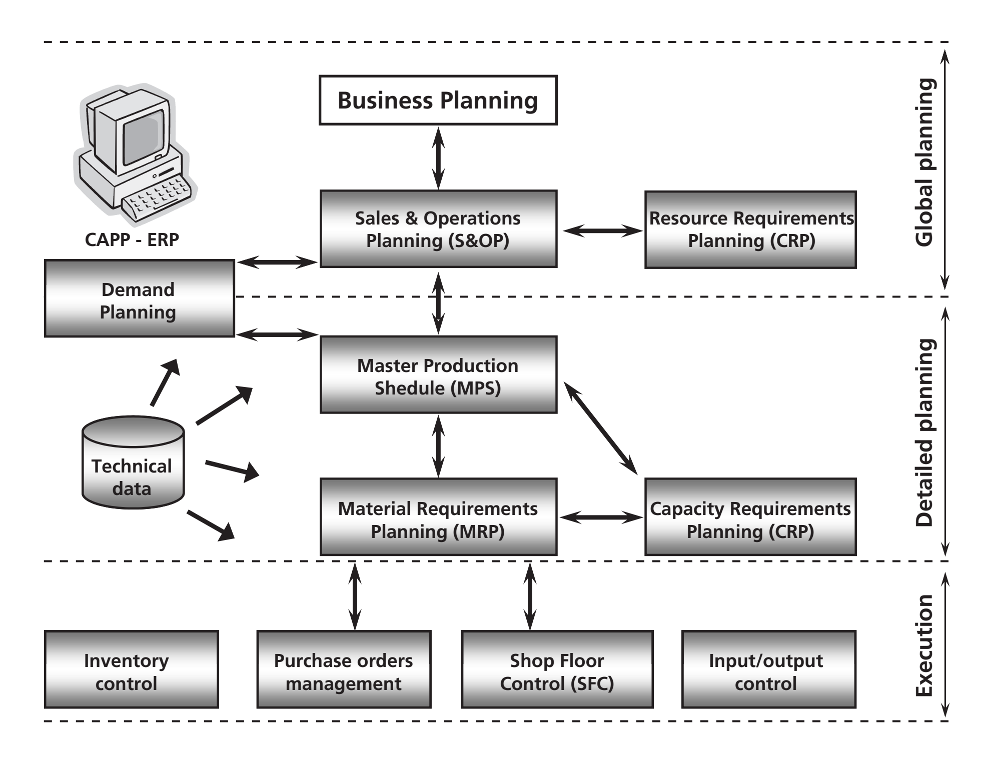


Figure 7.15 – Nom des différents modules en anglais

L'évaluation des besoins est, à tous les niveaux, calculée à capacité infinie mais doit toujours être validée par un calcul de charge. Il faut surtout s'attacher à une bonne planification de « tête » (PIC + calcul des charges globales) réaliste pour bénéficier d'un programme directeur de production et d'un calcul des besoins utile, conduisant à une exécution facilitée.

6.2. Régulation de MRP2

L'ensemble du chapitre a présenté les divers niveaux de planification et de gestion d'atelier constituant le management des ressources de la production. Il a notamment montré leur enchaînement depuis le domaine stratégique jusqu'à celui de l'atelier. Nous avons, à plusieurs reprises, souligné la nécessité de réalisme à tous les niveaux.

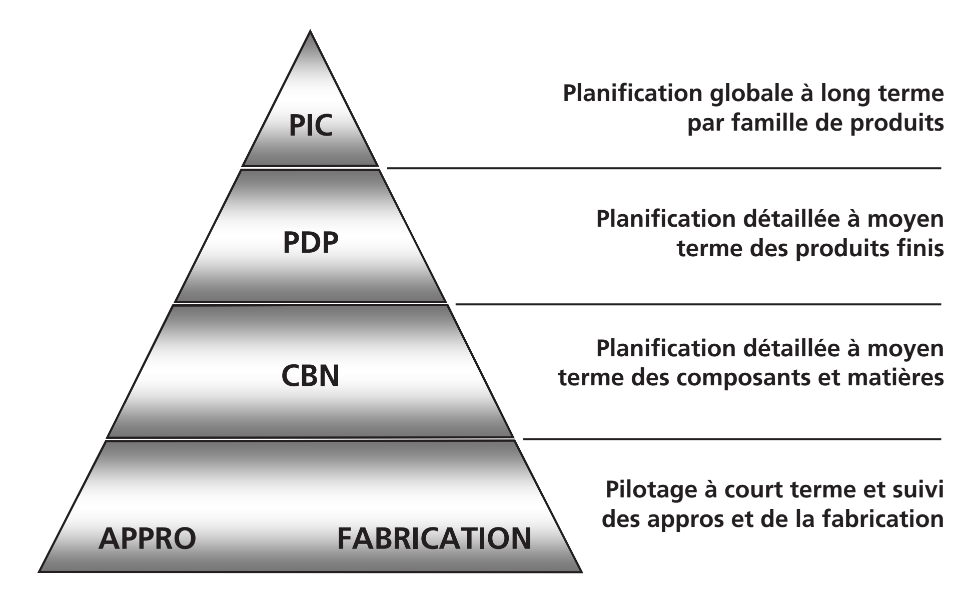


Figure 7.16 – Pyramide MRP2

Pour y parvenir, le système comporte trois boucles fonctionnelles de régulation décrites ci-dessous :

- la première concerne les délais. Elle est double et relie les résultats de la planification des capacités aux deux niveaux constitués par le calcul des besoins nets et le programme directeur de production ;
- la deuxième suit les charges et capacités. Elle connecte le lancement des ordres à la planification des capacités par le suivi du flux des charges ;
- la troisième traite des priorités. Elle est située entre l'ordonnancement et le suivi à court terme, d'une part, et le calcul des besoins, d'autre part.

Chapitre 8

Chaîne logistique globale : *supply chain*

1. Introduction

1.1. Généralités

Pour bien comprendre ce que signifie le concept et comprendre pourquoi il constitue aujourd'hui une phase d'évolution inéluctable pour les entreprises, il est utile de faire un rapide retour en arrière pour faire le point sur l'évolution des méthodes et outils en matière de gestion industrielle. En effet, si la *supply chain* a vu le jour récemment, ce n'est pas un hasard, mais le fruit d'une évolution à plusieurs niveaux, à la fois au niveau des systèmes d'information, des modes de transport, des réseaux informatiques…

La *supply chain* telle qu'elle est imaginée aujourd'hui aurait été inconcevable il y a ne serait-ce qu'une dizaine d'années.

Le concept de logistique, cœur de la *supply chain*, est apparu il y a fort longtemps… On peut, en effet, constater que les Égyptiens, dès la construction des grandes pyramides ont dû se poser des questions logistiques pour faire converger tous les composants nécessaires à la réalisation des travaux au bon moment. De même, les premières questions concernant la standardisation des tâches ont dû se poser à ce moment-là.

Mais, c'est au début du XXe siècle que le concept prend véritablement toute sa signification. C'est la période où TAYLOR développe les principes de

l'organisation scientifique du travail où, dans l'entreprise Ford, les premières expériences de travail à la chaîne sont mises en place : ce sont donc les premières innovations en matière de logistique.

Il faudra attendre les années 1950-1960, pour voir apparaître les premiers logiciels informatiques spécialisés en logistique industrielle, c'est « Class » d'IBM qui sera le premier programme informatique capable de gérer une production.

Dans les années 1970-1980, la logistique prend un virage radical. En effet, avec l'apparition de la concurrence et de la mondialisation des échanges, la diversité des produits explose, la complexité se développe, les exigences en matière de raccourcissement des délais sont telles qu'il faut approvisionner, produire et livrer des produits à cycle de vie de plus en plus courts le plus rapidement possible et partout dans le monde. Cela va générer pour les entreprises des besoins d'évolution importants. Dans ces années-là, le Japon est en pleine réussite industrielle et c'est de ce côté-là que les entreprises occidentales vont chercher des solutions : le TPS (*Toyota Production System*), le juste-à-temps, la qualité totale, la maintenance productive totale… vont permettre d'accroître sensiblement la flexibilité et la réactivité des industries. Parallèlement, les progiciels de gestion industrielle évoluent beaucoup et vont représenter de gigantesques boîtes à calculs pertinentes dont les entreprises ont besoin pour gérer leurs problèmes de complexité et de diversité croissants.

Aujourd'hui, les exigences sont encore plus importantes. Pour survivre, les entreprises doivent proposer :

- un temps de réponse toujours plus court, à tous les niveaux (conception, industrialisation, approvisionnement, fabrication, distribution, produit, processus…) ;
- des coûts de plus en plus faibles ;
- une qualité parfaite qui est devenue une condition nécessaire pour mettre un produit sur le marché ;
- un service client de plus en plus personnalisé (adaptation aux besoins, assistance à la mise en œuvre, dépannage…).

Pour apporter des réponses à ces nouvelles exigences, les entreprises se sont interrogées. Elles ont constaté que le recours aux méthodes de type *Lean Manufacturing* leur avait permis d'éliminer de nombreux gaspillages existant au niveau interne, à l'intérieur des entreprises. Dans certains cas, un travail d'amélioration a même été mené en partenariat avec les fournisseurs, ce qui a permis des améliorations plus globales, mais ces situations restaient pour le moins très limitées…

La réflexion s'est alors orientée vers une logique beaucoup plus globale : pourquoi ne pas réfléchir au niveau de la chaîne constituée par l'ensemble des acteurs à l'origine de la réalisation d'un produit ou d'une famille de produits, **de l'entreprise représentant le premier fournisseur de la chaîne jusqu'au client le plus en aval de la chaîne, à savoir le consommateur final du produit**.

Cette réflexion a l'avantage d'amener les entreprises dans des sphères de réflexions inexploitées jusqu'alors. En effet, à partir du moment où on observe la chaîne de création des produits, on s'intéresse à la recherche de l'optimisation globale de la chaîne et non plus l'optimisation des différents maillons de la chaîne, ce qui est radicalement différent. Ce mode de réflexion va également amener les entreprises à regarder et à étudier les connexions existant entre les différents maillons, ainsi que les rôles de chaque maillon qui seront à redéfinir…

La vision *supply chain* a donc amené aux entreprises de nouveaux générateurs de progrès que nous allons développer ultérieurement.

1.2. De la logistique à la *supply chain*

Pour bien comprendre ce qu'est la chaîne logistique, il nous semble important de bien comprendre tout d'abord ce qu'est la logistique. Pour le grand public, derrière le mot « logistique » vient la version un peu militaire du terme « mettre à disposition des unités opérationnelles, l'ensemble des produits dont elles ont besoin ». Pour l'entreprise, la logistique a d'abord été la gestion des moyens de transport pour mettre à disposition des ressources les stocks nécessaires afin d'éviter toute situation de rupture.

Dans cette logique de base, la solution la plus simple consiste à mettre des stocks un peu partout afin de garantir un taux de service satisfaisant.

Dans une relation entre un fournisseur et un client, le client souhaiterait que le stock soit présent chez le fournisseur et *vice versa*. Cependant, lorsqu'on regarde le problème de façon globale, peu importe que le stock se trouve chez l'un ou chez l'autre (ou chez les deux), de toute façon il va falloir payer ce stock, et celui qui va le payer, en fin de compte, ce sera le client final, le client de la « chaîne logistique ».

Vu sous cet angle, nos deux entreprises ont donc intérêt à s'entendre pour ne plus voir la logistique comme un centre de coût mais comme une source de profit. Alors, comment organiser de façon optimale cette connexion entre les deux entreprises pour non seulement diminuer le coût, mais optimiser les profits de chacun ?

Il va falloir, bien sûr, revoir les aspects d'« intendance » tels que les stocks éventuels, les lieux de stockage, les transports. Il va falloir créer des liens beaucoup plus forts entre les deux partenaires comme, par exemple, réserver chez le fournisseur une certaine capacité de production avec des périodes fermes, et d'autres plus souples, revoir une politique tarifaire qui pourra être variable en fonction du respect des engagements de chacun, etc.

Cette évolution entre la première vision de la logistique et ce chaînage entre plusieurs entreprises pour une meilleure satisfaction du client, méritait un changement de nom pour parler désormais de « chaîne logistique globale » ou *supply chain*.

1.3. Du concept de logistique au concept de logistique globale

Pour définir la logistique, nous avons choisi de reprendre la définition de A. K. Samii[1] qui nous a paru très intéressante : « La logistique est la gestion des flux et son accélération comme dans un pipe-line », comme le montre la figure 8.1.

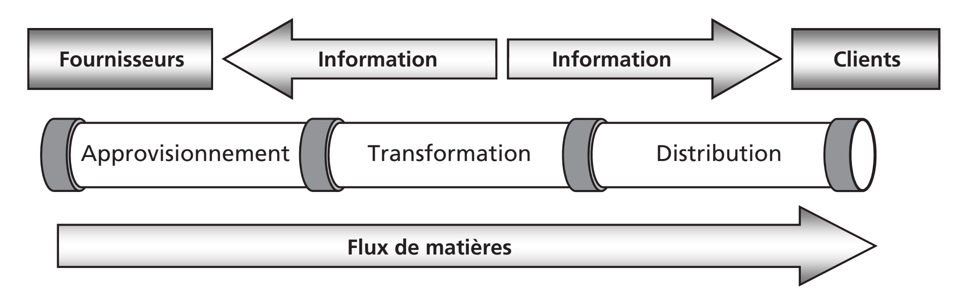


Figure 8.1 – Le pipe-line logistique

On trouve dans la littérature de nombreuses représentations de la logistique en bulles, en fleurs…

La représentation sous la forme d'un pipe-line nous plaît beaucoup parce qu'elle est efficace. L'analogie avec la circulation du pétrole dans un pipe-line correspond à ce que toutes les entreprises souhaitent faire aujourd'hui : fluidifier au maximum leurs productions et la distribution de celles-ci pour qu'il n'y ait quasiment plus de ruptures ou d'engorgements de flux ; c'est essentiel en matière de satisfaction rapide du client.

1. A. K. Samii, *Mutations des stratégies logistiques en Europe*, Nathan, 1997.

Figure 8.2 – Le pipe-line *supply chain*

On peut donc dès maintenant envisager la *supply chain* comme un super pipe-line qui intégrerait la totalité des acteurs présents dans la chaîne logistique de réalisation d'un produit ou d'une famille de produits.

Ce pipe-line *supply chain* (cf. figure 8.2) ne pourra être pertinent et efficace que si tous les éléments constituant le pipe-line sont imbriqués les uns dans les autres, en d'autres termes si les différents maillons de la chaîne fonctionnent, en harmonie, ensemble. Cela laisse entrevoir, dès maintenant, un certain nombre de difficultés ; ce qui est difficile à mettre en place au niveau d'une unique entreprise le sera bien davantage au niveau d'une chaîne d'entreprises… La complexité, on peut même dire l'extrême complexité, sera monnaie courante dans les *supply chains*… avec tous les problèmes de gestion que l'on peut imaginer.

2. Le concept de *supply chain*, chaîne logistique globale

On peut définir la *supply chain* de la manière suivante :

La *supply chain* est le processus global de satisfaction des clients par la création d'une chaîne de valeur qui intègre de façon optimale l'ensemble des acteurs à l'origine de la réalisation d'un produit ou d'une famille de produits.

On a coutume de dire que la *supply chain* crée une chaîne de valeur qui commence chez le fournisseur du fournisseur du fournisseur… et qui se termine chez le client du client du client…

La démarche consiste donc à mettre en œuvre une gestion globale fondée sur l'apport de valeur à un produit depuis la production des matières premières jusqu'à la distribution chez le client final.

Le but recherché est une meilleure maîtrise des fournisseurs (et des fournisseurs des fournisseurs) et des clients (et des clients des clients…), afin d'améliorer la qualité de la prestation globale proposée au consommateur final.

L'un des objectifs primordiaux qu'on peut évoquer dès maintenant est pour les entreprises de la chaîne de trouver le moyen de travailler véritablement ensemble et efficacement, et on verra que cela crée de nombreuses difficultés.

On doit le cœur du concept de *supply chain* à Michaël PORTER[1] et à son analyse de la chaîne de valeur qui, selon lui, est un moyen d'impliquer l'ensemble des acteurs qui contribuent à la création de valeur aux différents stades de la mise sur le marché d'un produit, dans le but ultime d'accroître la profitabilité des entreprises.

Cette idée doit, selon nous, être complétée par l'apport de Peter HINES[2], qui considère que la chaîne de valeur peut être analysée en partant du produit souhaité par le client final. L'ensemble de la chaîne logistique peut alors être remonté à rebours, et le profit réalisé n'est que la résultante de l'exécution optimale du processus destiné à satisfaire le client final.

En résumé, on voit donc deux idées forces ressortir de ces deux analyses complémentaires : pour créer une chaîne logistique efficace, il faut partir du client et créer une chaîne de valeur à rebours jusqu'au premier producteur de matières.

3. *SUPPLY CHAIN* ET PROCESSUS

La création de la chaîne de valeur que doit constituer la *supply chain* n'est possible que si l'on s'appuie sur les éléments de structuration clés, constitutifs de celle-ci, à savoir les processus des entreprises. La démarche ne peut être tournée que vers l'amélioration des processus majeurs. Cela implique la prise en compte permanente du client, la disparition des frontières entre fonctions, un regard transversal sur les entreprises qui implique le personnel, les technologies et l'information. On doit donc avoir un ensemble d'organisations centrées sur les processus qui représentent une succession d'activités ajoutant de la valeur au produit.

1. Michael E. PORTER, *L'avantage concurrentiel*, Paris, InterÉditions, 1986.
2. Peter HINES, *Creating World Class Suppliers – Unlocking Mutual Competitive Advantage*, Financial Times Prentice Hall, 1994.

3.1. Processus et approche théorique

Pour bien comprendre où se situent les leviers d'actions d'une *supply chain*, il nous paraît intéressant de revenir quelques instants sur les notions d'activités et de processus.

Selon Philippe LORINO[1] : « Nous appellerons activité tout ce que l'on peut décrire par des verbes dans la vie de l'entreprise : tourner, fraiser, assembler, négocier un contrat, qualifier un fournisseur, monter une campagne promotionnelle, préparer un budget, émettre des factures, visiter un client, traiter des commandes…

« Une activité est un ensemble de tâches élémentaires :

- réalisées par un individu ou un groupe d'individus ;
- faisant appel à un savoir-faire spécifique ;
- homogènes du point de vue de leur comportement de performance ;
- permettant de fournir un *output* bien précis, qu'il soit matériel ou immatériel ;
- à un ou plusieurs clients identifiables, internes ou externes ;
- à partir d'un panier de ressources. »

Une activité devra donc être très étroitement liée à ce qui se passe réellement dans le fonctionnement de l'organisation, elle devra être accessible à tous les acteurs quel que soit leur niveau de responsabilité, et elle devra permettre une base de travail efficace pour analyser les causes de la performance ou de la non-performance dans l'organisation.

Malheureusement, elle correspond à une maille trop fine de découpage de l'entreprise, trop éloignée des enjeux stratégiques de l'organisation et de la *supply chain* ; il est donc nécessaire de regrouper les activités sous forme de processus associés aux chaînes de valeur stratégiques des entreprises constituant la *supply chain*.

Selon ISO 9000-2008, un processus peut être défini comme un « ensemble d'activités ». La définition selon la norme ISO 9000 de processus est : « Ensemble d'activités corrélées ou interactives qui transforme des éléments d'entrée en éléments de sortie. »

- Note 1 : les éléments d'entrée d'un processus sont généralement les éléments de sortie d'un autre processus.

1. Philippe LORINO, *Méthodes et pratiques de la performance*, Éditions d'Organisation, 3e édition, 2003.

- Note 2 : les processus d'un organisme sont généralement planifiés et mis en œuvre dans des conditions maîtrisées afin d'apporter une valeur ajoutée.

On peut donc observer différents processus dans les entreprises plus ou moins importants selon la stratégie définie au niveau de la *supply chain*. Citons, par exemple, le processus de développement de nouveaux produits, le processus commercial, le processus logistique, le processus de facturation…

C'est sur les processus clés de création de valeur des organisations la constituant que la *supply chain* va s'appuyer pour améliorer son fonctionnement. La structuration en processus est donc essentielle à la constitution de la *supply chain*. Les préconisations de la norme ISO 9001:2008 sont tout à fait à l'ordre du jour au niveau des chaînes logistiques globales.

3.2. Processus et approche pratique

Créer une *supply chain* va consister à rechercher, au travers des processus, les chaînes de valeur existant dans les différents maillons de la chaîne.

On peut, dans un premier temps, observer les chaînes de valeur internes de chaque organisation : cette analyse est tout à fait complémentaire de la structuration en processus.

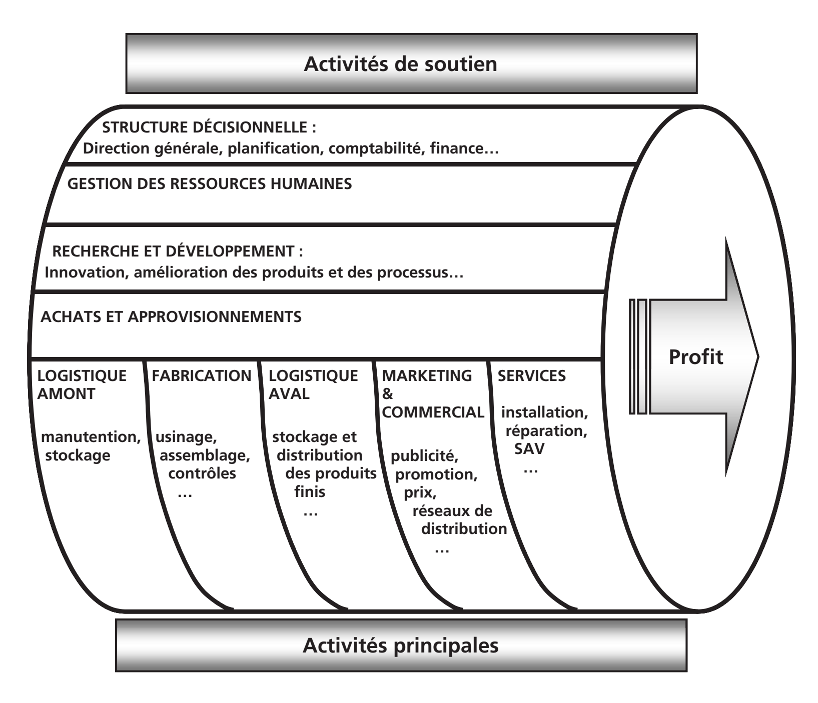


Figure 8.3 – La chaîne de valeur interne à l'organisation

L'analyse de la chaîne de valeur interne (cf. figure 8.3) va permettre de savoir quels sont les dysfonctionnements et les freins à la performance de chaque maillon de la chaîne.

Au niveau des activités principales, des problèmes existent-ils ? Par exemple, des problèmes de ruptures de flux fréquents au niveau de la production, des problèmes de non-qualité jugés trop importants par les clients… des problèmes classiques qui peuvent être réglés par une démarche de type *Lean Manufacturing*.

Au niveau des activités de soutien, la aussi, des problèmes existent-ils ? Des erreurs trop fréquentes dans les facturations, des commandes clients qui restent trop longtemps sans être communiquées…

Mais l'objectif principal de la *supply chain* est de ne pas en rester là et de se préoccuper des chaînes de valeur externes (cf. figure 8.4).

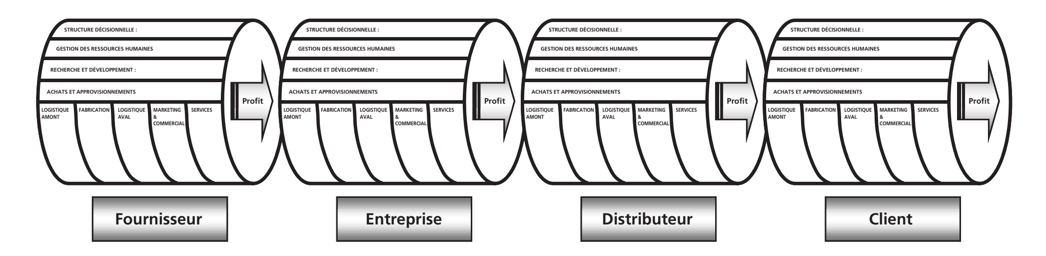


Figure 8.4 – La chaîne de valeur externe

L'analyse de la chaîne de valeur externe ne va pas consister à regarder chacun des éléments indépendamment les uns des autres. Cela reviendrait, en effet, à généraliser ce que l'on a dit précédemment.

Non, l'analyse de la chaîne de valeur externe va permettre de porter un regard sur la chaîne logistique dans sa globalité, et d'y appliquer tous les concepts développés dans le cadre du *Lean Manufacturing*…

Cela permettra en particulier d'identifier :

- **les activités qu'il faudra développer** car elles apportent, directement ou indirectement, de la valeur au produit destiné au client final. On peut donner l'exemple de certaines entreprises de vente par correspondance qui se sont rapidement aperçues que le délai était un élément clé du déclenchement de la commande. Elles ont alors choisi de proposer des délais de plus en plus courts : une semaine, puis 48 heures, puis 24 heures, ce qui leur a imposé de développer tout un réseau de logistique de distribution fiable

pour parvenir à respecter leurs engagements. L'une d'elles, en particulier, déçue par les problèmes de non-fiabilité rencontrés avec son prestataire logistique n'a pas hésité à créer son propre système de distribution avec ses propres camions et ses propres points de distribution ;

- **les activités qu'il faudra supprimer** car effectuées en double ou de façon redondante entre les différents maillons de la chaîne. On peut donner l'exemple d'entreprises qui centralisent et développent leur service achats dans un seul lieu géographique au lieu de maintenir une multitude de services achats au niveau de chacun des maillons de la chaîne globale. Cette approche permet de mettre en place un travail de globalisation des achats et de sourcing efficace ;
- **les activités inutiles** dans la satisfaction du client et qu'il faudra supprimer. Le client est prêt à payer pour certains éléments du produit, mais il y en a d'autres qu'il considère comme superflus… Il est donc inutile de perdre de l'argent à maintenir des opérations qui n'apportent rien d'important pour le client. On peut donner l'exemple de certains appareils électroménagers proposant une multitude de fonctionnalités et d'utilisation très complexe. Certains clients sont, certes, prêts à acheter ce type de produits mais ce n'est pas le cas de la majorité. L'analyse précise des besoins et des attentes des clients peut être déterminante pour véritablement justifier ce qui est utile et ce qui ne l'est pas ;
- **les activités qui manquent** et qu'il faudra créer. On peut donner l'exemple des entreprises qui produisent des céréales pour le petit déjeuner qui se sont aperçues que la consommation des céréales pouvait être multipliée par un coefficient important en fonction des éléments gadgets trouvés par les enfants à l'intérieur des paquets. Il s'agit d'un élément qui n'apporte rien au produit alimentaire mais qui est déterminant dans le déclenchement de l'achat. Il convient donc de ne pas le négliger.

Par ailleurs, la connaissance des forces et faiblesses de chacun des maillons de la chaîne permettra de faire évoluer les entreprises vers un fonctionnement coopératif qui mettra en œuvre :

- **la suppression de certains traitements de données** grâce aux EDI (échanges de données informatisées) ou la mise en place de certaines solutions informatiques de type Intranet ou Internet qui vont accélérer considérablement la circulation des informations et des produits. On voit apparaître aujourd'hui des systèmes où les maillons clients ne communiquent même plus leurs besoins aux maillons fournisseurs. Ceux-ci disposent d'un code d'accès Internet ou Intranet qui leur permet d'aller consulter l'évolution des stocks du maillon client et de décider (sans en

informer le maillon client) le réapprovisionnement de celui-ci en fonction de ce qu'ils jugent être ses besoins. La communication entre maillon client et maillon fournisseur est donc réduite au minimum… Ce système porte le nom de VMI (*Vendor Managed Inventory*), ou GPA en français (Gestion Partagée des Approvisionnements) ;

- **le transfert de certaines activités d'un maillon à l'autre** en fonction des performances de chacun ; on peut observer de nombreux exemples de ce type-là au niveau des débuts de chaîne logistique dans l'activité automobile. Les constructeurs automobiles qui avaient l'habitude de concevoir une automobile dans sa globalité (c'est-à-dire l'automobile et tous ses sous-ensembles et composants) se sont aperçus que leurs fournisseurs de composants étaient bien plus performants qu'eux, non seulement pour réaliser les composants mais aussi pour les concevoir. Ils ont donc décidé d'externaliser la conception chez les fabricants de ces mêmes composants, jugés beaucoup plus efficaces qu'eux-mêmes. Cette situation qui semble *a priori* très satisfaisante peut néanmoins être délicate, en particulier quand le fabricant de composants fournit des composants similaires à des entreprises concurrentes et peut donc faire bénéficier celles-ci des progrès techniques réalisés en partenariat avec d'autres entreprises. Pour pallier ce type de problèmes, certaines entreprises n'ont pas hésité à racheter certains de leurs fournisseurs pour leur imposer de ne travailler que pour elles, dans une relation de totale exclusivité. Ces cas particuliers se sont produits quand les fournisseurs réalisaient des composants jugés stratégiques par les entreprises clientes ;
- **la délocalisation d'une partie des activités** d'une entreprise. Cela peut être le fournisseur qui crée un stock à proximité de son client, ou le client qui crée une structure logistique délocalisée permettant de réaliser des regroupements de plusieurs fournisseurs d'une même région.

On observe au niveau de ces deux derniers exemples que les choix de décision pris dans le cadre d'une réorganisation autour de la *supply chain* ne sont pas neutres en termes de conséquences, et qu'il est très important de bien en mesurer les enjeux.

4. Le fonctionnement de la *supply chain*

Pour réaliser une *supply chain* efficace, il est important d'avoir une démarche progressive qui prendra en considération de nombreux éléments que nous allons développer maintenant.

4.1. Le point de départ de la *supply chain* : le client final

Nous avons choisi de retenir l'idée de Peter HINES et de faire démarrer la chaîne logistique globale au niveau du client final. Le client final, c'est lui qui garantit l'existence même du produit, son prix et ses volumes.

C'est grâce à l'analyse précise des besoins et des attentes du client final que l'on pourra avoir, au niveau de la chaîne, une stratégie valeur-coût permettant de définir les cycles de développement des produits et les cycles d'exploitation de ceux-ci, ainsi que tous les éléments de rentabilité probables ou possibles. Pour répondre à cette exigence, il est nécessaire de travailler en ingénierie simultanée au niveau de la chaîne globale pour développer les nouveaux produits. Cela consiste à utiliser les compétences de chacun des maillons de la chaîne pour travailler en étroite collaboration au niveau des réunions de conception des produits, où chacun va apporter son savoir-faire concernant les composants du produit, les sous-ensembles, les aspects logistiques, la qualité…

C'est grâce à une bonne gestion de la relation client que l'on pourra fidéliser celui-ci et permettre une augmentation des ventes bénéfique à tous les maillons de la chaîne.

Le client final est, somme toute, le déclencheur de tous les enjeux de la *supply chain*. Il n'est donc pas étonnant de voir les entreprises dépenser des sommes considérables dans les études de marché, de satisfaction clients… dans les démarches publicitaires de séduction du client… Ce n'est pas de l'argent perdu !

4.2. L'organisation et la planification dans la *supply chain*

Une bonne gestion de la *supply chain* est inimaginable sans organisation globale, sans planification globale liant l'ensemble des éléments constituant celle-ci. Une organisation globale, cela signifie : structurer la chaîne logistique en fonction des maillons qui la constituent. Une planification globale, cela signifie : réfléchir sur le long terme, le moyen terme et le court terme pour décider ce qui sera produit et comment.

Cela se traduit souvent par une organisation au niveau de régions géographiques déterminées. Cette organisation est, en général, la combinaison d'une logique de flux poussés fondée sur les prévisions de ventes, pour la partie planification et programmation de la production (PIC centralisé et programmes

directeurs de production dans chaque région d'implantation de la chaîne), et flux tirés pour la production et la livraison des produits en fonction des appels effectués par les entreprises commerciales de la chaîne, comme le montre la figure 8.5.

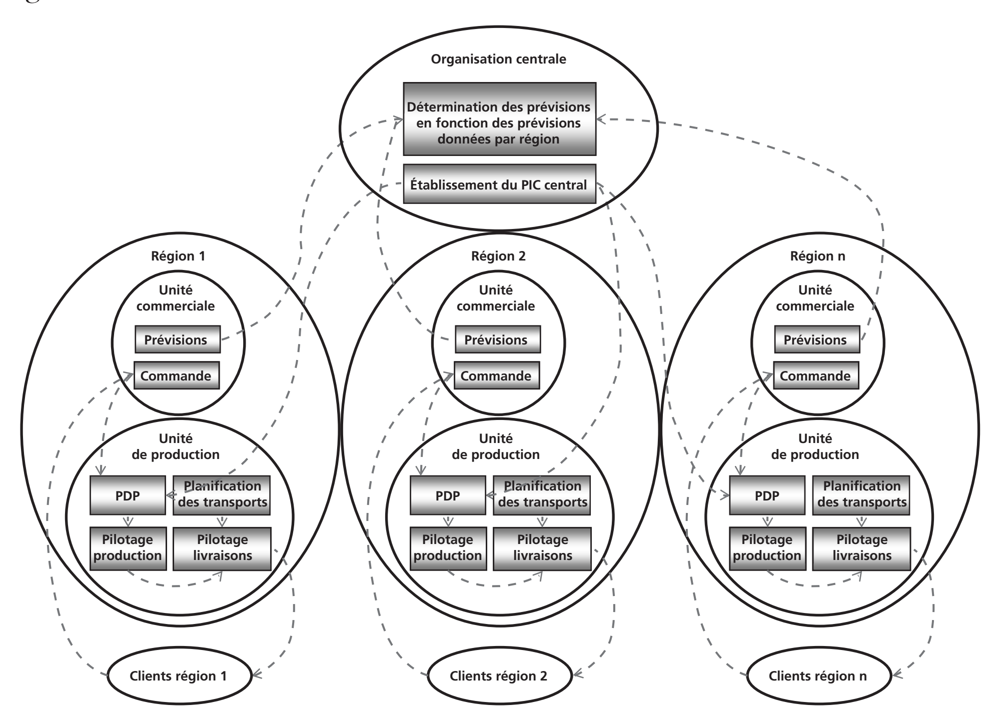


Figure 8.5 – Organisation globale d'une *supply chain*

Ce système traduit une grande complexité à la fois d'organisation, de planification et de gestion qui va se mettre en place petit à petit sur le long terme.

La gestion de la complexité inhérente à la construction même de la *supply chain* n'est possible que grâce à l'utilisation de logiciels spécialisés dont nous parlerons au paragraphe 6.

La réflexion qui a lieu sur le long terme impose de revoir périodiquement les choix effectués. En effet, les conséquences d'erreurs concernent la globalité des éléments de la *supply chain*, et peuvent donc être dramatiques du fait de la transmission probable d'un maillon à l'autre…

La réflexion à long terme impose qu'au sein des différents maillons de la chaîne, les personnes s'engagent véritablement à respecter les choix décidés ; il en va de l'existence même de la *supply chain*.

La réflexion à long terme doit être relayée par la réflexion à moyen terme qui va assurer le pilotage des flux pour une meilleure satisfaction des clients. La chaîne logistique globale se doit de mettre en place en particulier :

- **une gestion centralisée des achats**, ce qui est source de gains importants : négociations pratiquées sur des volumes qui permettent des négociations de prix loin d'être négligeables. Mais la mise en place n'est pas simple surtout quand la chaîne est multinationale. En effet, les achats effectués dans certains pays ne correspondent pas forcément aux exigences légales exprimées dans d'autres, ils peuvent être sources de coûts logistiques importants, ils peuvent être sources de coûts liés aux différentiels des taux de change pratiqués à certaines périodes… Il ne faut donc pas imaginer que la globalisation des achats va être facile…
- **une nouvelle gestion des approvisionnements** qui se traduit par plusieurs innovations comme :
  - la massification des flux de produits, en amont vis-à-vis des fournisseurs, en aval vis-à-vis des distributeurs ;
  - l'enlèvement des produits chez les fournisseurs ;
  - le regroupement des approvisionnements par métier ou par filière qui consiste à regrouper les approvisionnements des fournisseurs vers leurs entrepôts ainsi qu'à regrouper les livraisons de leurs entrepôts vers les points de vente. Cette logique répond à un objectif d'abaissement des seuils de revente à perte.
- **une nouvelle gestion des stocks** pour surmonter les problèmes liés à la gestion des différents lieux de stockage. Les entreprises constituant les différents maillons de la *supply chain* acquièrent des logiciels SCE (*Supply Chain Execution*) qui vont piloter les flux de produits à partir de la gestion des stocks. Ces SCE commencent par définir les caractéristiques des clients (modalités de réception des commandes, système de facturation, types de conditionnements et de livraisons) pour pouvoir mettre en place des réapprovisionnements automatiques, comportant des modules de gestion des entrepôts (optimisation des préparations et des livraisons) et de transports (optimisation des chargements et des tournées). Les SCE répondent à des situations en flux tirés et sont tournées vers le service aux clients en recourant aux EDI ou Internet pour la transmission des commandes. Ces SCE modifient complètement les procédures d'approvisionnements et de gestion des stocks.

Les réflexions à long terme et à moyen terme doivent préparer le terrain pour que le pilotage des flux sur le court terme puisse avoir lieu sans trop de problèmes. La réaction au niveau du court terme est quasiment impossible. Il

est souvent trop tard pour pouvoir réagir efficacement. Les ajustements ne peuvent être que partiels (utilisations de travailleurs intérimaires, gammes de remplacements, séquencements d'opérations, appel à des modes de transports très coûteux : taxis, avions…). On ne peut en aucun cas imaginer reporter les problèmes rencontrés à un instant donné sur le maillon de la chaîne suivant et ainsi de suite jusqu'au… client, car c'est le risque !

5. DRP

Distribution Resource Planning ou « planification de la distribution » est une méthode pour planifier les transferts de produits finis tout au long de la chaîne logistique aval. DRP détermine les quantités de produits finis et les dates de transfert pour livrer chaque lieu de stockage en fonction des prévisions de la demande.

DRP est une extension de MRP et est présent dans de nombreux progiciels de SCM (*Supply Chain Management)*. DRP organise les livraisons de produits finis grâce à une nomenclature modélisant le réseau de distribution et à un calcul qui s'apparente à un calcul des besoins.

DRP nécessite les informations suivantes :

- la demande future aux différents points de distribution ;
- les produits en transit avec leur date de réception ;
- le stock de sécurité que l'on souhaite aux points de distribution ;
- le stock disponible dans chaque point de distribution (entrepôts).

Exemple

L'entreprise **iTechMedia** envisage de revoir le mode de distribution de ses produits. Jusqu'à présent, l'entreprise fabriquait les baladeurs multimédias seulement pour le marché français.



Figure 8.6 – Carte Michelin de la situation actuelle

Les baladeurs étaient tous expédiés depuis l'usine (U) qui se trouve à Annecy en Haute-Savoie. Devant le succès des produits **iTechMedia**, il est envisagé de proposer les baladeurs dans d'autres pays européens (l'Angleterre, les pays du Benelux, l'Allemagne et l'Espagne dans un premier temps). Le mode de distribution actuel n'est pas adapté pour ces nouveaux marchés car cela engendrerait de trop nombreux déplacements et donc des coûts de transport trop importants. Pour massifier les transports, il est prévu de créer deux plates-formes de distribution (noté P) qui alimenteront des dépôts (noté D) situés dans les différents pays et qui livreront aussi les produits aux clients français.

Voici ce qui est prévu :

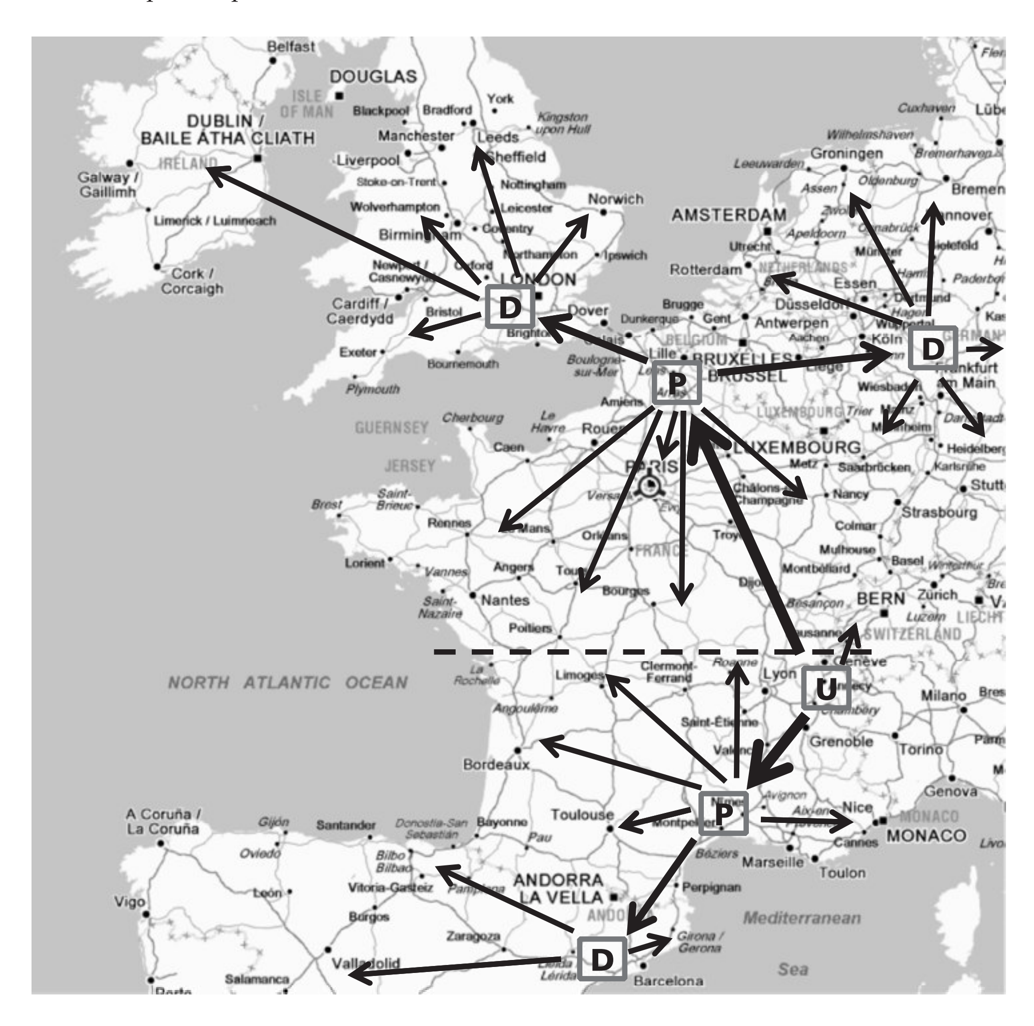


Figure 8.7 – Carte Michelin de la future situation

Pour gérer cette chaîne logistique, la méthode DRP va être utilisée. De cette façon, les prévisions de ventes seront élaborées directement par les commerciaux des différentes zones, et elles seront agrégées au niveau des différents dépôts et plates-formes de distribution. Les ordres de transport pour réapprovisionner les stocks seront planifiés, et ceux-ci permettront de déterminer les besoins en produits finis fabriqués par l'usine. Nous allons, dans la suite, prendre l'exemple de la distribution des baladeurs 250 Go.

Voici la nomenclature de distribution qui montre l'arborescence de la chaîne logistique et la codification des baladeurs PF250Go tout au long de cette chaîne logistique :

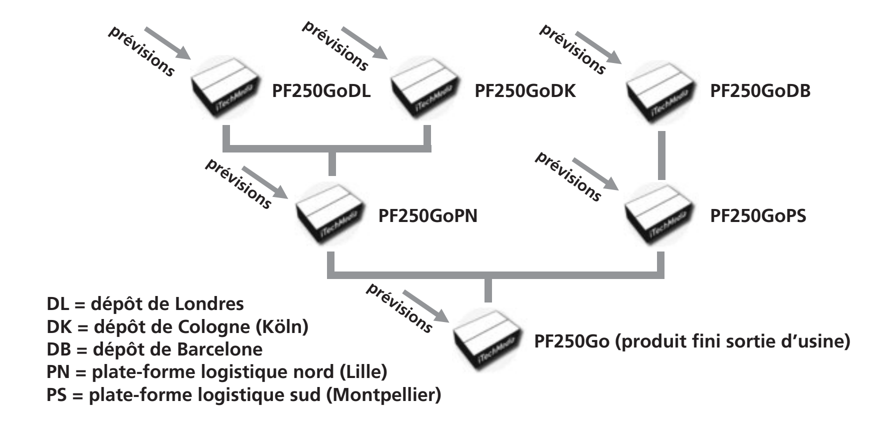


Figure 8.8 – Nomenclature de distribution

Prenons le cas du dépôt de Londres qui a vocation à distribuer les baladeurs multimédias à tous les clients anglais et irlandais. Le code de l'article est PF250GoDL. Le délai de réapprovisionnement du dépôt de Londres à partir de la plate-forme logistique du nord de la France n'est que de un jour ou deux, mais celui-ci a été arrondi à une semaine pour n'obtenir qu'un seul transport par semaine et pour simplifier les tableaux de calculs.

		Taille de lot = x 2000			Délai = 1s Unité = Pièce			Stock = 5000		SS = 200	
PF250GoDL		**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**
Prévisions Angleterre		500	700	1000	1300	1500	1600	1700	1800	1800	1800
Prévisions Irlande		300	400	700	800	900	900	900	900	900	900
Stock disponible	250	1450	350	650	550	150	1650	1050	350	1650	950
En transit (fin)		2000									
Ordres transport (fin)				2000	2000	2000	4000	2000	2000	4000	2000
Ordres transport (déb)			2000	2000	2000	4000	2000	2000	4000	2000	

Messages :

On remarquera que la technique de calcul est la même que celle du calcul des besoins nets avec la différence que ce sont des ordres de transport (OT) qui sont planifiés et pas des ordres d'approvisionnement (OA) ou des ordres de fabrication (OF).

Voici le même tableau pour le dépôt de Cologne (Köln).

		Taille de lot = x 2000			Délai = 1s Unité = Pièce			Stock = 1900		SS = 200	
PF250GoDK		**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**
Prévisions Benelux		500	600	900	1000	1100	1100	1100	1100	1100	1100
Prévisions Allemagne		700	900	1200	1500	1700	1800	1900	2000	2000	2000
Stock disponible	1700	500	1000	900	400	1600	700	1700	600	1500	400
En transit (fin)		2000									
Ordres transport (fin)			2000	2000	2000	4000	2000	4000	2000	4000	2000
Ordres transport (déb)		2000	2000	2000	4000	2000	4000	2000	4000	2000	

Message : lancer un OT de 2000 PF500GoDK pour la semaine 2.

La plate-forme logistique de Lille devra livrer la clientèle diffuse du nord de la France ainsi que les dépôts de Londres et de Cologne, d'où la présence de prévisions de ventes et de besoins générés par les dépôts.

		Taille de lot = x 2000 Niveau = 0			Délai = 1s Unité = Pièce			Stock = 350		SS = 150	
PF250GoPN		**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**
Prévisions nord France		1300	1400	1450	1600	1700	1800	1900	1900	2000	
Besoins dépôt Londres			2000	2000	2000	4000	2000	2000	4000	2000	
Besoins dépôt Köln		2000	2000	2000	4000	2000	4000	2000	4000	2000	
Stock disponible	200	900	1500	2050	450	750	950	1050	1150	1150	1050
En transit (fin)		4000									
Ordres transport (fin)			6000	6000	6000	8000	8000	6000	10000	6000	2000
Ordres transport (déb)		6000	6000	6000	8000	8000	6000	10000	6000	2000	

Message : lancer un OT de 6000 PF250GoPN pour la semaine 2.

On voit bien ici l'effet massification du transport car au lieu d'expédier des petites quantités tous les jours vers les nombreux clients anglais, allemands, ou du nord de la France, on va expédier une fois par semaine de grosses quantités de baladeurs. Sachant qu'il y a 400 baladeurs par palette, cela fait donc 15 palettes, 20 palettes ou 25 palettes à transporter…

Les deux tableaux suivants montrent la planification des ventes et des transferts de produits finis pour le sud de la France et pour le dépôt de Barcelone.

Taille de lot = x 2000 Délai = 1s Stock = 700 SS = 200
Niveau = 0 Unité = Pièce

PF250GoDB		**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**
Prévisions Espagne		300	400	600	800	900	1000	1000	1000	1000	1000
Stock disponible	500	2200	1800	1200	400	1500	500	1500	500	1500	500
En transit (fin)		2000									
Ordres transport (fin)						2000		2000		2000	
Ordres transport (déb)					2000		2000		2000		

Message : retarder l'ordre en transit de 1 semaine.

Taille de lot = x 2000 Délai = 1s Stock = 1 100 SS = 200
Niveau = 0 Unité = Pièce

PF250GoPS		**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**
Prévisions sud France		600	700	750	800	800	900	900	1000	1100	1000
Besoins dépôt Barcelone					2000		2000		2000		
Stock disponible	950	350	1650	900	100	1300	400	1500	500	1400	300
En transit (fin)											
Ordres transport (fin)			2000		2000	2000	2000	2000	2000	2000	
Ordres transport (déb)		2000		2000	2000	2000	2000	2000	2000		

Message : lancer un OT de 2000 PF250GoPS pour la semaine 2.

On peut donc maintenant calculer les besoins en PF500Go ce qui permettra de planifier les productions futures au niveau de l'usine d'Annecy. On gardera bien sûr la notion de zone ferme de façon à stabiliser la production (voir chapitre 5 : Planification détaillée).

		Taille de lot = x 400			Délai = 1s			Stock = 300		SS = 100	
		Niveau = 0			Unité = Pièce				Zone ferme = 5s		
PF250GoPS		**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**
Prévisions Suisse		200	400	500	700	800	900	900	900	900	900
Besoins PN		6000	6000	6000	8000	8000	6000	10000	6000	2000	
Besoins PS		2000		2000	2000	2000	2000	2000	2000		
Stock disponible	200	0	0	300	0	0	300	200	100	0	300
Ordres proposés (fin)		8000L	6400F	8800F	10400F	10800F	9200	12800	8800	2800	1200
Ordres proposés (déb)		6400F	8800F	10400F	10800F	9200	12800	8800	2800	1200	

Messages : lancer un OF de 6400 PF250Go pour la semaine 2 ; affermir l'ordre proposé de la semaine 6.

Remarques : l'horizon nécessaire pour la planification doit être augmenté pour prendre en compte les délais de distribution (voir chapitre 5 : Planification détaillée).

Le stock de sécurité est réparti tout au long de la chaîne logistique. Il faudra faire attention à ce que ce système n'augmente pas globalement le stock de sécurité. Le stock de sécurité a vocation à se trouver au plus proche du lieu de vente et devra être dimensionné en fonction des incertitudes des prévisions (voir chapitre 4 : Prévision de la demande). Il est à noter qu'un problème de rupture de stock dans un dépôt ou sur une plate-forme peut être résolu par l'envoi de produits d'un autre dépôt ou d'une autre plate-forme.

On pourra calculer des disponibles à vendre dans chaque dépôt ou plate-forme de stockage en prenant en compte les commandes clients (voir chapitre 5 : Planification détaillée).

Dans le cas de l'entreprise **iTechMedia**, pour accompagner la hausse des ventes dues à l'élargissement du périmètre commercial, il va falloir augmenter la capacité de production de l'usine.

Pour cela il faudra :

- utiliser le plan industriel et commercial et le calcul des charges globales pour déterminer le besoin futur en capacité ;
- refondre le système de production en s'inspirant de la philosophie du *Lean Manufacturing* de façon à obtenir un outil de production flexible, réactif, avec des coûts de production contenus et une qualité irréprochable, seule garantie de pouvoir continuer à produire les baladeurs **iTechMedia** en France…

6. *Supply chain* et mutation des systèmes d'information

La planification, la programmation et l'exécution au niveau d'une chaîne logistique globale ne peuvent aujourd'hui fonctionner que grâce aux mutations informatiques qui ont eu lieu au cours de ces cinq à dix dernières années. En effet, comme nous l'avons déjà précisé précédemment, la création des *supply chains* est génératrice de complexité, et cette complexité, il faut trouver des logiciels ayant la capacité de la gérer ! Cela n'a été possible que grâce au développement des matériels informatiques et des logiciels.

- Les éditeurs ont d'abord proposé des progiciels chargés de piloter la production, les *Manufacturing Execution Systems* (MES).
- Puis, les éditeurs ont conçu des progiciels capables de gérer les opérations de logistique de distribution. Ce sont les *Supply Chain Execution* (SCE) qui regroupent la gestion et le suivi des opérations logistiques ainsi que la gestion des commandes. Ces logiciels intègrent la méthode DRP.
- Ensuite, pour créer une courroie de transmission des informations entre les SCE (niveau opérationnel) et la planification (niveau stratégique), on a vu apparaître les *Enterprise Resource Plannings* (ERP) qui permettent de réactualiser le suivi et la conduite des stratégies.
- Et afin d'introduire le temps réel dans la planification, les entreprises recourent alors aux *Advanced Planning and Scheduling Systems* (APS) qui sont finalement les logiciels qui correspondent le mieux aux besoins des *supply chains* parce qu'ils sont capables de connecter en temps réel l'opérationnel et la planification.
- Enfin, pour relier la gestion des clients d'un point de vue marketing aux bases de données ERP ou APS, il existe les *Customer Relationship Management* (CRM).

Pour plus de précisions et de détails concernant ces différents types de logiciels, nous vous conseillons de vous reporter au chapitre 10.

6.1. *Supply chain* et informations de gestion

La plupart des informations utiles à l'analyse de la chaîne de valeur de la chaîne logistique globale sont issues du contrôle de gestion.

Il s'agit :

- d'informations de performance où le coût est rapporté à un résultat obtenu ;
- d'informations d'efficacité où le coût est rapporté au temps nécessaire à l'obtention du résultat ;

- d'informations d'efficience où les indicateurs d'efficacité sont séparés entre eux ;
- …

Pour obtenir les informations utiles à la *supply chain*, plusieurs méthodes peuvent être utilisées. Ces méthodes ont pour base la nécessaire structuration en processus et la logique d'identification des chaînes de valeur.

- Le *target costing* est une méthode japonaise qui a pour objectif de préciser la conception des produits nouveaux à développer tout en assurant la rentabilité future de la *supply chain*. Cette méthode détermine à partir du prix de vente du marché et de la marge souhaitée par l'entreprise le coût de revient cible, coût de revient maximal imposé pour réaliser le produit (ce coût incluant tous les éléments traditionnels de calcul de coût y compris les coûts de développement produit). Si l'on constate que le coût estimé prévisionnel du produit n'entre pas dans l'enveloppe définie par le coût de revient cible, on ne va pas aller plus loin et on ne va pas développer le produit (sauf pour des raisons stratégiques, d'analyse en portefeuille de produits).
- La méthode *Activity Based Costing – Activity Based Management* (ABC-ABM) ou gestion par activités est une méthode qui vient des États-Unis et qui commence véritablement à se développer. Elle consiste à :
  – identifier pour chaque dépense l'origine de celle-ci, la nature de la dépense et l'activité concernée ;
  – utiliser l'activité pour rechercher les causes de non-performance ;
  – allouer la dépense aux produits correspondants.

  Elle va permettre de fournir des informations chiffrées à la démarche de progrès continu pour obtenir des coûts de revient fiables pour l'analyse stratégique.
- La pratique très répandue dans les entreprises et très complémentaire à l'utilisation d'une gestion par activités est celle des indicateurs de performance. Cette méthode consiste à utiliser aussi bien au niveau stratégique, qu'au niveau tactique et opérationnel, une chaîne d'indicateurs physiques ou financiers créés à partir du déploiement des objectifs de la stratégie de la *supply chain* à chaque niveau de celle-ci. Ces indicateurs, indissociables des plans d'actions d'amélioration sont là pour mesurer et orienter les décisions. Pour avoir plus d'informations le lecteur pourra se reporter au chapitre 15 de cet ouvrage.
- La méthode qui semble la plus intéressante au niveau de la réflexion *supply chain* est celle du *Balance Scorecard*. Cette méthode cherche à mesurer les performances qui servent les stratégies de la *supply chain*. Pour cela, le

Balance Scorecard a choisi quatre axes pour calculer le score d'une entreprise. Le score, c'est la valeur numérique de synthèse qui représente, dans une unité cohérente, la synthèse du degré de réussite de la *supply chain*.

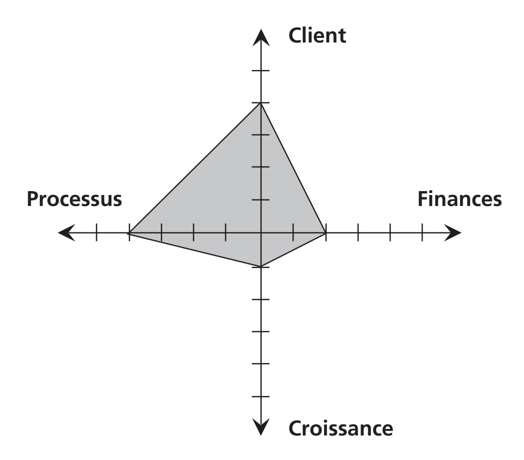


Figure 8.9 – Les axes du *Balance Scorecard*

Les quatre axes retenus sont :

- l'axe client déterminant le positionnement de la *supply chain* sur son marché au moyen du taux de service client-livraison, l'évolution des parts de marché… Cet axe permet de savoir quelle est l'image que la *supply chain* projette sur son marché, en d'autres termes quel est son avenir ;
- l'axe financier comportant une estimation de l'évolution du chiffre d'affaires, une évaluation du taux de rotation des actifs, une appréciation sur les gains de productivité… C'est l'axe le plus regardé pour aider l'entreprise dans son développement futur ;
- l'axe croissance et savoir faisant référence à la capacité de la *supply chain* à maîtriser son savoir pour progresser ;
- l'axe processus interne évaluant le degré de réactivité de la *supply chain* c'est-à-dire sa capacité à faire face à l'évolution des besoins des clients finaux donc sa capacité à proposer de nouveaux produits, à mettre en place de nouveaux processus. Cet axe est la condition nécessaire pour réussir l'amélioration des processus et obtenir la maîtrise des procédés.

Ces quatre axes doivent être non pas additionnés mais corrélés pour mesurer les impacts respectifs de chacune des performances en matière de rentabilité et de niveau de service client. C'est la corrélation des quatre axes qui va permettre de fixer le score à atteindre pour que la *supply chain* soit performante.

7. Les conséquences de ce mode de fonctionnement

Les entreprises qui vont s'intégrer dans une approche logistique globale vont rechercher leurs activités clés, c'est-à-dire les activités origines de la création de valeur pour le client ; les autres activités viendront en support de ces activités valorisantes. Ceci va se traduire souvent par l'externalisation de certaines activités auprès d'autres maillons de la chaîne. Ce n'est donc pas par hasard si l'on assiste aujourd'hui à une vague d'externalisation sans précédent, mais cela va supposer une bonne synchronisation des différents acteurs, de leurs actions et de leur système d'information.

La chaîne logistique globale intègre l'ensemble des processus nécessaires pour obtenir et livrer les produits du fournisseur initial au client final. Elle impose donc une planification globale liant tous les acteurs sans exception. Cette planification globale se doit d'être relayée par un travail aussi bien au niveau stratégique que tactique et opérationnel. Le but étant que chacun des maillons de la chaîne identifie ses problèmes et les résolve pour empêcher leur diffusion chez les autres.

Par exemple, un fournisseur de tôles d'acier pour l'automobile propose à ses clients de prendre directement à sa charge l'approvisionnement en acier. Le constructeur dispose ainsi d'une capacité de l'unité de production qui lui est réservée à partir d'engagements respectifs. Virtuellement, le constructeur automobile dispose donc d'un outil de production chez son fournisseur. L'appel est tiré par la demande et les conditions de prix sont fonction du respect des engagements. Le package inclut également un service de dépannage et la mise à disposition de stocks éventuels sous certaines conditions. Dans ce projet *supply chain*, le souci pour le fournisseur d'acier est clairement de maîtriser la chaîne logistique jusqu'à la machine du client et d'associer un service à ses produits permettant d'augmenter la création de valeur. L'intérêt pour le client est la garantie d'un approvisionnement sans heurt et à coût minimal (sous réserve qu'il respecte ses engagements) de ses lignes de production, en se déchargeant des activités d'approvisionnement qui ne font pas partie de son cœur de métier.

7.1. La virtualisation des entreprises

Dans le contexte de la chaîne logistique globale, les différentes entreprises maillons sont amenées à collaborer étroitement les unes avec les autres. Ce contexte se traduit par la création d'entreprises virtuelles. En effet, les entreprises maillons combinent leurs forces pour atteindre un objectif commun. Mais une fois cet objectif atteint, l'entreprise virtuelle que constitue la *supply chain* disparaît le plus souvent pour refaire place aux organisations qui la composaient.

Cela ressemble beaucoup aux entreprises qui se structurent par projet, où chaque fonction concernée contribue à l'apport de valeur dans le but de mener le projet à son terme. Quand le projet est terminé, chaque fonction aura d'autres missions et en particulier pourra participer à un autre projet.

Au niveau de la *supply chain*, c'est la même logique : une entreprise pourra être l'un des maillons d'une chaîne logistique, puis retrouver son « indépendance » et participer à une autre chaîne et ainsi de suite…

7.2. Les obstacles rencontrés

Comme nous l'avons précisé au début de ce chapitre, la création d'une *supply chain* a pour objectif premier l'optimisation des résultats de la chaîne, ce qui ne se traduit pas forcément par l'optimisation des résultats pour chacun des maillons de la chaîne et qui ne va pas sans poser de problèmes, problèmes qui seront moins importants si toutes les entreprises de la chaîne logistique appartiennent au même groupe industriel…

7.2.1. Les clivages internes

Il est souvent très difficile de faire comprendre aux différents maillons de la chaîne la nécessité de partager les pouvoirs, les profits et l'information, que les entreprises appartiennent au même groupe ou non. Le fait d'être dépossédée du pouvoir que l'on avait depuis de nombreuses années au profit d'une entreprise parfois plus petite que soi, au niveau de laquelle on agissait en donneur d'ordre, est très difficile à faire passer. Et la notion d'augmentation du profit global n'y change rien… Elle ne signifie rien pour les entreprises concernées.

7.2.2. Les clivages externes

Les entreprises ont l'habitude de travailler pour elles-mêmes. Elles ont toujours fonctionné comme cela. L'intégration dans une chaîne globale doit les amener à faire évoluer la relation client-fournisseur. En général, il y a un refus systématique de faire évoluer cette relation car les entreprises ont peur d'être perdantes dans la nouvelle relation.

7.2.3. La prédominance de l'opérationnel

Les entreprises continuent d'avoir tendance à privilégier les recherches d'améliorations locales, rapides, sans préoccupation de l'augmentation de valeur globale de la chaîne, qu'elles ont de toute façon du mal à imaginer.

7.2.4. L'absence d'un véritable système de mesure

Malgré la pertinence de l'utilisation de la méthode *Activity Based Costing – Activity Based Management* ou du *Balance Scorecard*, il n'y a pas de vrai système de mesure qui permette d'évaluer précisément la contribution respective des différents éléments de la chaîne logistique au service apporté au client final.

7.2.5. La peur d'un changement radical de l'organisation

La *supply chain* se traduit bien évidemment par des transformations profondes au niveau de chaque maillon. Certains maillons ont le sentiment de perdre dans la nouvelle organisation globale, ce qui rend les entreprises très circonspectes par rapport à ce type de révolution. D'une manière générale, les entreprises ne souhaitent pas y aller !

8. Les bonnes pratiques dans une *supply chain*

De façon très concrète, si l'on observe ce qui se passe sur le terrain entre les différents maillons d'une chaîne logistique, le premier objectif est de simplifier le plus possible le flux des produits entre les différents maillons de la chaîne, de simplifier les flux entre commande et livraison, pour être plus rapide, plus efficace.

Le développement des technologies de l'information met aujourd'hui à disposition des entreprises de multiples solutions pour accélérer les flux entre elles.

8.1. La communication des commandes par EDI

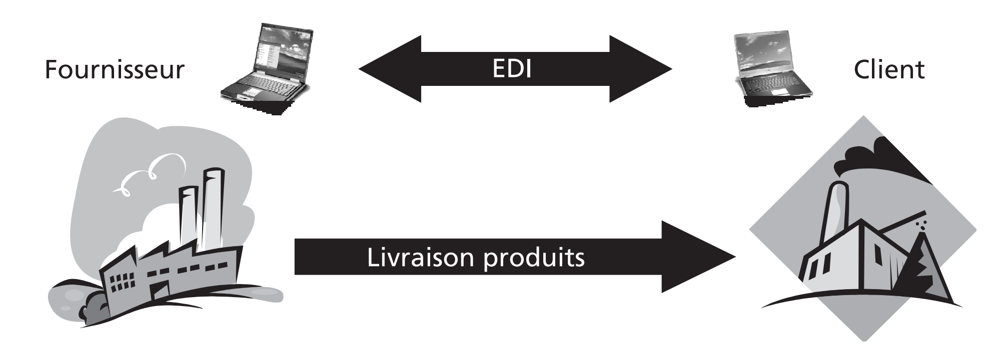


Figure 8.10 – Communication des commandes par EDI

Les EDI (échange des données informatisées, *Electronic Data Interchange*) sont un mode de transfert des commandes (ou d'autres informations) d'une entreprise à une autre sous la forme d'un fichier numérique qui va être envoyé dans un délai extrêmement court par un réseau informatique de type Internet ou Intranet.

C'est aussi simple et rapide qu'un coup de téléphone. Mais, cela possède un atout essentiel en termes de traçabilité de l'information transmise…

Le client envoie sa demande juste-à-temps à son fournisseur qui doit être exécutée sous la forme d'un ordre de fabrication, dans un délai très court. Cela permet une extrême réactivité de la liaison clients-fournisseurs. Le fournisseur est alors considéré comme un atelier de l'entreprise situé à l'extérieur.

Ce système ne peut fonctionner que si une grande confiance existe entre le client et ses fournisseurs, et surtout si un système de planification et de programmation efficace a été défini par le client et ses fournisseurs.

- Les fournisseurs doivent connaître très à l'avance les besoins du client (planification des besoins à six mois un an, de façon très globale par famille de produits) même si le niveau de fiabilité de l'information est encore incertain. Cela leur permet de commencer à anticiper, à se préparer.
- L'information de planification doit être relayée par une information de programmation beaucoup plus fine et précise (programmation des besoins au mois à 2 ou 3 mois par référence achetée) qui permet au fournisseur de préparer son organisation de production, d'ajuster sa capacité aux besoins, de lisser éventuellement sa charge.
- Le fournisseur pourra alors être réactif (à la journée ou à la semaine), puisqu'il a préparé son système de production à cette situation.

Ce système peut aller jusqu'à la mise en place d'une liaison de type VMI ou GPA que nous avons déjà abordée dans le paragraphe 8.3 du chapitre 3.

Cette logique de production va avoir pour conséquence une grande fluidité des approvisionnements mais une désoptimisation des transports. En effet, les commandes passées par quantités de plus en plus petites vont amener à des transports où les flux ne seront pas massifiés. Les coûts des transports à l'unité vont donc augmenter, ce qui n'est pas souhaitable dans un contexte de lutte drastique sur les prix.

8.2. *Multi-pick*, *multi-drop* et plates-formes de *cross docking*

Le *multi-pick* ainsi que le *multi-drop* ont pour objectif de réaliser des transports, camions pleins, en organisant des tournées de ramassage entre plusieurs fournisseurs d'un même client ou entre plusieurs clients d'un même fournisseur.

Fournisseur 1 Fournisseur 2 Fournisseur 3

MULTI-PICK : augmentation des fréquences de livraison et meilleur remplissage des véhicules

Client

Figure 8.11 – *Multi-pick*

Le *multi-pick*, comme le montre la figure 8.11, consiste à faire effectuer des tournées de ramassage de matières, composants, sous-ensembles auprès de plusieurs fournisseurs d'un même client pour alimenter celui-ci. Ce système permet d'augmenter la fréquence de livraison du client et de lui livrer des quantités plus petites. Ce système permet également un meilleur remplissage des véhicules.

Le *multi-drop*, comme le montre la figure 8.12, consiste à faire effectuer des tournées de livraisons de matières, composants, sous-ensembles d'un même fournisseur auprès de plusieurs de ses clients pour alimenter ceux-ci. Ce système permet d'augmenter la fréquence de livraison des clients et de leur livrer des quantités plus petites. Ce système permet également un meilleur remplissage des véhicules.

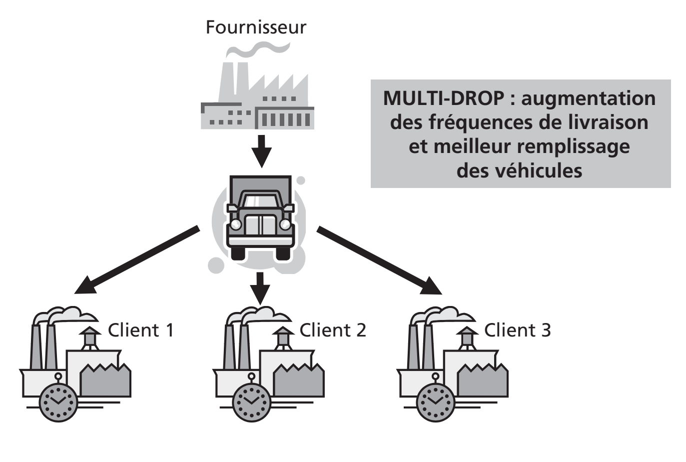


Figure 8.12 – *Multi-drop*

Quand les flux nécessitent une opération de décomposition-recomposition des palettes de produits pour optimiser les transports, on crée des plates-formes intermédiaires appelées : plates-formes de *cross docking* pour organiser ces opérations comme le montre la figure 8.13. On peut prendre l'exemple du groupe SEB qui fait venir sur sa plate-forme de *cross docking* de la région lyonnaise des fers à repasser Calor, des autocuiseurs SEB, des poêles et casseroles Tefal, des bouilloires… par palettes entières de ses usines de production. Les palettes reçues sur la plate-forme sont décomposées et recomposées par palettes différenciées où l'on peut trouver dans une même palette à la fois des fers, des casseroles, etc. en fonction des commandes des centrales d'achats des entreprises de la grande distribution… Les palettes indifférenciées sont livrées à la plate-forme par camions pleins de produits indifférenciés et redistribués par camions pleins de produits différenciés à la grande distribution.

Ce système permet de massifier les flux le plus possible et permet de réaliser, le cas échéant, quelques opérations d'assemblage final dans une logique de différenciation retardée (intégration des notices et des cordons électriques dans des conditionnements de fers à repasser en fonction de leurs pays de destination par exemple).

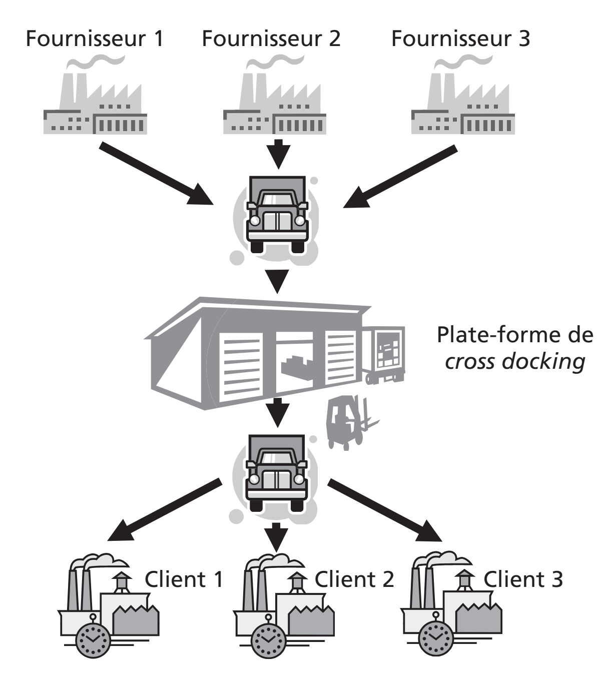


Figure 8.13 – Plate-forme de *cross docking*

Ces trois systèmes ne pourront fonctionner efficacement que si :

- il existe une certaine proximité géographique entre les fournisseurs dans le cas du *multi-pick*, et entre les clients dans le cas du *multi-drop* ;
- on met des produits homogènes à l'intérieur des camions ;
- des accords sur les heures de chargements, déchargements sont bien définis préalablement, de même que des accords sur les niveaux de remplissage respectifs ;
- des accords sur le choix du transporteur (souvent le prestataire du fournisseur le plus important dans le cas du *multi-pick*, et celui du client le plus important dans le cas du *multi-drop*) ;
- on met en place, dès la création du projet, un système de prévisions et de planifications concertées entre clients et fournisseurs. Ce système porte le nom de CPFR : *Collaborative Planning Forecasting Replenishment*. Ce système sera aidé par un logiciel de CRS : *Continous Replenishment Service* qui se chargera du calcul des prévisions et des réapprovisionnements.

Ces bonnes pratiques constituent un point de démarrage dans une logique de type *supply chain* et permettent aux entreprises de commencer à entrevoir les conséquences positives (raccourcissement des délais globaux, meilleure réactivité, diminution des stocks et meilleur service clients intermédiaires et finaux…) de la réflexion menée sur la chaîne logistique.

9. Conclusion

Un projet de chaîne logistique globale est finalement un projet multifonctions et multi-entreprises qui met en évidence la nécessité de mutualiser un certain nombre de responsabilités. Cela se traduit donc presque automatiquement par une redistribution des rôles et des pouvoirs qui est fortement perturbante pour l'organisation, compte tenu des réactions qu'elle engendre.

Les expériences de *supply chain* réussies sont encore assez rares à observer. Mais nombreux sont les groupes d'entreprises qui ont la volonté d'y parvenir. Les années futures nous éclaireront mieux sur les capacités de certaines à réussir leurs transformations profondes.

On peut tout de même observer aujourd'hui que la *supply chain* est plus facile à mettre en œuvre pour les entreprises appartenant à des chaînes logistiques courtes, du type : producteur-distributeur-client.

Elle est aussi plus facile à réaliser quand toutes les entreprises constituant la chaîne appartiennent au même groupe, il y a alors une volonté réelle d'avancer dans le même sens pour le bien du groupe dans sa globalité.

En revanche, quand la chaîne logistique est longue et que, de surcroît, les différents maillons de la chaîne appartiennent à des groupes différents, et en plus des groupes importants, la création de la *supply chain* bute alors sur de nombreuses difficultés, et en particulier les entreprises constituantes ont beaucoup de mal à accepter de perdre une partie de leurs pouvoirs. Il suffit d'observer ce qui se passe aujourd'hui dans le monde de l'automobile où s'affrontent des groupes importants sur une même chaîne logistique comme Arcelor, Renault, Valéo, Bosch… Les améliorations *supply chain* restent, dans ce type de situation, extrêmement limitées à des expériences de mini-*supply chains*, parties de la chaîne complète…

Chapitre 9

Gestion de projet

1. Introduction

Gérer un projet, cela signifie traditionnellement, ordonner, ordonnancer les différentes tâches qui vont permettre de mener à bien le projet.

Cette idée fait habituellement référence à des projets unitaires à lancement répétitif ou non, comme la conception-fabrication d'un supertanker, d'une université ou encore d'un chantier de travaux publics.

Mais, depuis quelque temps, avec l'apparition de l'ingénierie simultanée (*Simultaneous Engineering* ou *Concurrent Engineering*), les idées évoluent. On gère aujourd'hui la conception-fabrication d'une automobile ou d'une gamme de baladeurs multimédias comme un projet. Une équipe-projet comprenant des hommes du commercial, du bureau d'études, des méthodes, de la fabrication, de la gestion de production et de la qualité est constituée dès le départ du projet et va suivre celui-ci jusqu'à son aboutissement.

Pour organiser et gérer les différentes phases d'un projet, il est nécessaire d'utiliser des méthodes, et la méthode PERT ainsi que le Gantt, que nous allons développer dans ce chapitre, sont toujours au goût du jour !

1.1. Fonctions de la gestion de projet

On peut distinguer trois fonctions principales :

- planification des différentes opérations à réaliser sur la période déterminée, et des moyens matériels et humains à mettre en œuvre pour réaliser le projet ;
- exécution, c'est-à-dire mise en œuvre des différentes opérations prédéfinies et suivi de celles-ci ;
- contrôle par comparaison entre planification et réalisation ; calcul d'écarts et analyse de ceux-ci, ce qui peut entraîner certaines modifications dans la réalisation du projet.

Pour assurer correctement la réalisation de ces fonctions, il est nécessaire :

- de définir de manière très précise le projet ;
- de définir ensuite un responsable du projet auquel on rendra compte de l'avancement du projet, et qui prendra les décisions importantes ;
- d'analyser le projet par grands groupes d'opérations à réaliser, pour avoir une idée relativement précise de l'étendue et de toutes les ramifications du projet ;
- de détailler les différents groupes d'opérations et de préciser leur enchaînement et leur durée ;
- de rechercher les coûts correspondants, ce qui peut remettre en cause certains éléments du projet que l'on va être amené à modifier ;
- d'effectuer des contrôles périodiques pour vérifier que le système ne dérive pas, et prendre les mesures qui s'imposent dans ce cas.

1.2. But de la gestion de projet

Pour chaque projet, il va s'agir de déterminer le programme optimal d'utilisation des moyens de conception-fabrication permettant de satisfaire au mieux les besoins des clients.

On va donc essayer de faire en sorte que les moyens humains et matériels soient utilisés de la meilleure façon possible, tout en essayant de respecter les délais du mieux que l'on peut.

Pour établir ce programme, il faudra par ailleurs tenir compte d'un certain nombre d'éléments auxquels l'entreprise est soumise dans le cadre de sa politique en matière de production, comme :

- la minimisation de tous les types de stocks ;

- la minimisation des coûts ;
- la diminution des délais de fabrication ;
- la qualité des produits ;
- le plein-emploi des ressources ;
- ...

Certains éléments sont contradictoires ; il faudra savoir arbitrer et prendre les bonnes décisions.

2. La méthode PERT

2.1. Généralités

PERT signifie *Program and Evaluation Review Technique*, « technique d'élaboration et de contrôle des projets » pourrait-on traduire en français.

La méthode PERT date de 1958 et vient des États-Unis où elle a été développée sous l'impulsion de la marine américaine. Celle-ci a en effet créé à cette époque-là, une force de frappe nucléaire dont faisait partie un programme de missiles à longue portée *Polaris* qui représentait 250 fournisseurs, 9000 sous-traitants et d'une durée de réalisation prévue de sept ans.

L'utilisation du PERT a permis de ramener la durée globale de réalisation du projet de sept à quatre ans. Cette méthode s'est ensuite étendue à l'industrie américaine, puis à l'industrie européenne.

La méthode PERT est synonyme de gestion de projets importants et à long terme.

2.2. Présentation de la méthode PERT

La méthode PERT s'attache surtout à mettre en évidence les liaisons qui existent entre les différentes tâches d'un projet et à définir le chemin dit « critique », constitué de l'ensemble des opérations critiques c'est-à-dire des opérations sur lesquelles on ne peut pas prendre de retard sans modifier la durée de réalisation du projet.

Sa réalisation nécessite tout d'abord de définir :

- le projet à réaliser ;
- les différentes opérations et les responsables de ces opérations ;
- les durées correspondantes ;
- les liens entre ces différentes opérations.

2.2.1. La méthode de construction du PERT

Le graphe PERT est composé d'étapes et d'opérations. On représente les étapes par des cercles ; on représente les opérations ou les tâches à effectuer par des flèches. La longueur des flèches n'a pas de signification, (il n'y a pas de proportionnalité par rapport au temps).

Pour présenter la méthode, choisissons un exemple tout à fait élémentaire qui ne serait jamais traité dans la réalité par la méthode PERT. Notre objectif est ici essentiellement pédagogique.

Supposons que nous souhaitions prendre une photographie avec un appareil photo numérique.

Opérations à réaliser

Code	Désignation	Durée(s)
A	Sortir l'appareil de son étui	15
B	Viser l'objet à photographier	10
C	Régler le zoom	5
D	Appuyer sur le déclencheur	1
E	Regarder si la photo est réussie	7

Liens entre les opérations

Ces opérations se suivent les unes à la suite des autres de A jusqu'à E.

Le PERT correspondant est représenté sur la figure 9.1.

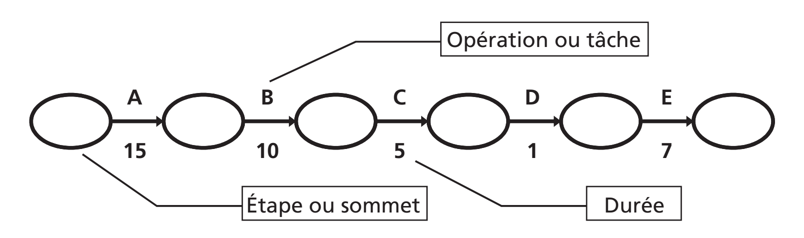


Figure 9.1 – PERT : prise d'une photographie

2.2.2. Précisions concernant la représentation graphique

Un PERT possède un seul sommet de début, un seul sommet de fin.

On ne peut représenter une opération que par une seule flèche.

Deux tâches A et B qui se succèdent immédiatement, se représentent par des flèches qui se suivent (figure 9.2).

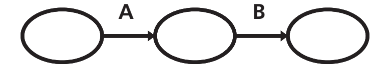


Figure 9.2 – Tâches successives

Deux tâches simultanées (c'est-à-dire qui commencent en même temps) sont représentées comme indiqué sur la figure 9.3.

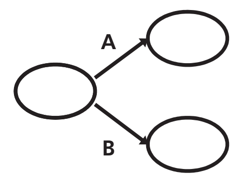


Figure 9.3 – Tâches simultanées

Deux tâches A et B convergentes (c'est-à-dire qui précèdent une même étape C) sont représentées comme indiqué sur la figure 9.4.

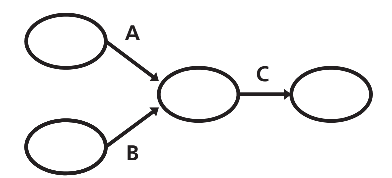


Figure 9.4 – Tâches convergentes

Pour les besoins de la représentation, on est parfois obligé de créer des tâches fictives X de durée nulle. Ainsi, le graphe PERT de la figure 9.5 signifie que :

- A et B sont simultanées ;
- C et D sont convergentes ;
- A précède C ;
- B précède D.

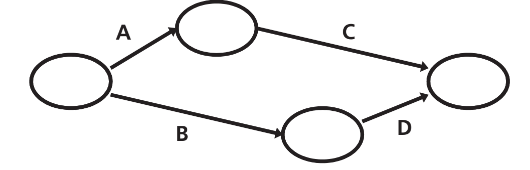


Figure 9.5 – Exemple comportant des tâches simultanées et convergentes

Supposons que nous ajoutions la condition supplémentaire, A précède D.

Il faut alors créer une tâche fictive X, de durée nulle dont l'objectif est de modéliser cette condition d'antériorité nouvelle. On aura alors la représentation de la figure 9.6.

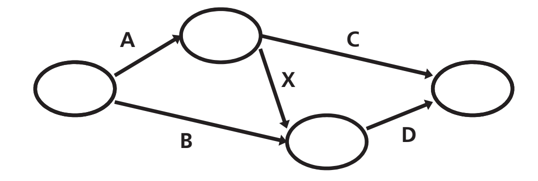


Figure 9.6 – Exemple comportant une tâche fictive

Des informations sur les dates vont ensuite être ajoutées sur le graphe : la durée des tâches, les dates de début et de fin au plus tôt et au plus tard.

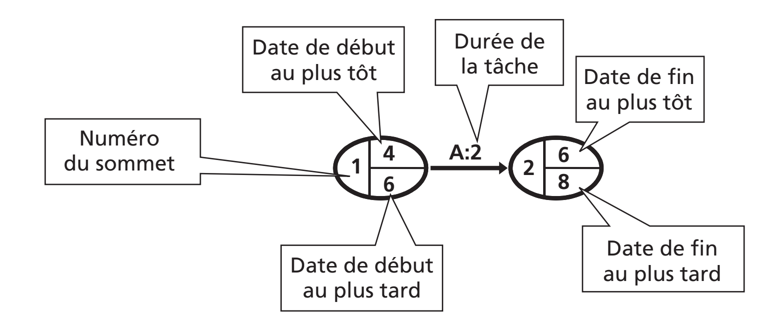


Figure 9.7 – Inscription des durées et dates

2.2.3. Les étapes de la construction du PERT

Nous allons traiter un exemple concret et sa réalisation, phase par phase, à l'aide de la méthode PERT.

Prenons l'exemple de l'industrialisation du nouveau modèle de baladeur **iTechMedia** qui remplacera à terme le baladeur B120 (en fin de vie). Celui-ci porte pour l'instant le code provisoire de BXXX. Des évolutions techniques et fonctionnelles sont envisagées :

- intégration du Wifi (et du Bluetooth) absent sur les modèles actuels ;
- augmentation de la capacité du disque dur ;
- nouveau logiciel pour la prise en charge du Wifi ;
- nouveau design ;
- dématérialisation de la doc (doc sur l'appareil).

Pour prendre connaissance de l'entreprise **iTechMedia** et de ses produits on se reportera au chapitre 1 : Introduction, et au chapitre 2 : Données techniques. Compte tenu de la féroce concurrence sur le marché des baladeurs multimédias, la durée de conception-industrialisation de ce nouveau modèle ne devra pas dépasser quatorze semaines.

iTechMedia a décidé de gérer la conception et l'industrialisation de ce nouvel appareil sous la forme d'un projet, appelé « Projet BXXX » avec une équipe composée :

- d'un concepteur « parties mécaniques » ;
- d'un concepteur « parties électroniques » ;
- d'un informaticien micro-système ;
- d'un technicien méthode ;
- d'un acheteur ;
- d'un logisticien
- d'un qualiticien ;
- et d'un pilote du projet qui animera et gérera le projet.

Lors de la première réunion du groupe de projet, la liste des tâches à réaliser a été établie et les contraintes d'antériorités ont été déterminées.

	Description des tâches	Tâches antérieures	Durée
A	Conception générale	/	2 semaines
B	Conception carte électronique	A	1 semaine
C	Conception pièces plastiques	A	1 semaine
D	Réalisation prototype carte électronique	B	2 semaines
E	Prototypage rapide du boîtier	C	1 semaine
F	Recherche fournisseurs	B	6 semaines
G	Mise au point du micro-logiciel	B	2 semaines
H	Essai technique et validation	D	1 semaine
I	Validation esthétique et fonctionnelle	D E	1 semaine
J	Préindustrialisation	D E	2 semaines
K	Choix des fournisseurs	H F	1 semaine
L	Industrialisation finale	H I J	2 semaines
M	Présérie, mise au point et validation	G K L	3 semaines
N	Mise au point de la doc électronique	G	2 semaines

Figure 9.8 – Tableau des antériorités pour le projet BXXX d'iTechMedia

Première étape

Pour construire le graphe, il faut tout d'abord choisir la manière de positionner les différentes opérations. Différentes méthodes existent pour apporter une solution à ce problème. Nous parlerons ici de la méthode des niveaux qui se développe à partir du tableau des antériorités :

1. On définit le niveau 1 comme étant l'ensemble des tâches n'ayant pas de tâches antérieures.
2. On barre dans le tableau des antériorités les tâches qui n'ont plus d'antériorités et on obtient le niveau suivant, et ainsi de suite…
3. Les niveaux ainsi définis donnent la position des sommets de début des tâches correspondantes.

En appliquant cette démarche à notre exemple, nous obtenons une seule tâche de niveau 1 : A. Barrons A dans le tableau des antériorités pour définir les tâches de niveau 2 (figure 9.9).

	Description des tâches	Tâches antérieures	Niveau
A	Conception générale	/	1
B	Conception carte électronique	~~A~~	
C	Conception pièces plastiques	~~A~~	
D	Réalisation prototype carte électronique	B	
E	Prototypage rapide du boîtier	C	
F	Recherche fournisseurs	B	
G	Mise au point du micro-logiciel	B	
H	Essai technique et validation	D	
I	Validation esthétique et fonctionnelle	D E	
J	Préindustrialisation	D E	
K	Choix des fournisseurs	H F	
L	Industrialisation finale	H I J	
M	Présérie, mise au point et validation	G K L	
N	Mise au point de la doc électronique	G	

Figure 9.9 – Détermination des niveaux : première étape

Les tâches n'ayant plus d'antérieur sont maintenant les tâches B et C, elles sont donc de niveau 2. Continuons en barrant dans le tableau les tâches B et C (figure 9.10).

	Description des tâches	Tâches antérieures	Niveau
A	Conception générale	/	1
B	Conception carte électronique	~~A~~	2
C	Conception pièces plastiques	~~A~~	2
D	Réalisation prototype carte électronique	~~B~~	
E	Prototypage rapide du boîtier	~~C~~	
F	Recherche fournisseurs	~~B~~	
G	Mise au point du micro-logiciel	~~B~~	
H	Essai technique et validation	D	
I	Validation esthétique et fonctionnelle	D E	
J	Préindustrialisation	D E	
K	Choix des fournisseurs	H F	
L	Industrialisation finale	H I J	
M	Présérie, mise au point et validation	G K L	
N	Mise au point de la doc électronique	G	

Figure 9.10 – Détermination des niveaux : deuxième étape

On définit ainsi 4 tâches de niveau 3 : D, E, F et G. Continuons en les barrant dans le tableau des antériorités (figure 9.11).

	Description des tâches	Tâches antérieures	Niveau
A	Conception générale	/	1
B	Conception carte électronique	~~A~~	2
C	Conception pièces plastiques	~~A~~	2
D	Réalisation prototype carte électronique	~~B~~	3
E	Prototypage rapide du boîtier	~~C~~	3
F	Recherche fournisseurs	~~B~~	3
G	Mise au point du micro-logiciel	~~B~~	3
H	Essai technique et validation	~~D~~	
I	Validation esthétique et fonctionnelle	~~D~~ ~~E~~	
J	Préindustrialisation	~~D~~ ~~E~~	
K	Choix des fournisseurs	H ~~F~~	
L	Industrialisation finale	H I J	
M	Présérie, mise au point et validation	~~G~~ K L	
N	Mise au point de la doc électronique	~~G~~	

Figure 9.11 – Détermination des niveaux : troisième étape

On définit ainsi H, I, J et N comme tâche de niveau 4 et on continue ainsi jusqu'à la fin. Cela donne le tableau suivant (figure 9.12) :

	Description des tâches	Tâches antérieures	Niveau
A	Conception générale	/	1
B	Conception carte électronique	~~A~~	2
C	Conception pièces plastiques	~~A~~	2
D	Réalisation prototype carte électronique	~~B~~	3
E	Prototypage rapide du boîtier	~~C~~	3
F	Recherche fournisseurs	~~B~~	3
G	Mise au point du micro-logiciel	~~B~~	3
H	Essai technique et validation	~~D~~	4
I	Validation esthétique et fonctionnelle	~~D~~ ~~E~~	4
J	Préindustrialisation	~~D~~ ~~E~~	4
K	Choix des fournisseurs	~~H~~ ~~F~~	5
L	Industrialisation finale	~~H~~ ~~I~~ ~~J~~	5
M	Présérie, mise au point et validation	~~G~~ K L	6
N	Mise au point de la doc électronique	~~G~~	4

Figure 9.12 – Détermination des niveaux : dernière étape

Deuxième étape

Ensuite il faut tracer le graphe. On commence par placer un sommet à gauche (début du projet) puis on trace verticalement 7 traits (pour les 6 niveaux et le sommet de fin du projet).

Avec les informations de niveaux précédents et les antériorités données pour chaque tâche on construit progressivement le graphe. On commence par la tâche A de niveau 1, puis on ajoute les tâches B et C et ainsi de suite. Parfois, des tâches fictives sont nécessaires pour exprimer correctement les antériorités. Par exemple, H a comme seul antérieur D. I et J ont comme antérieurs D et aussi E, d'où la tâche fictive (X : 0) entre D et I, J.

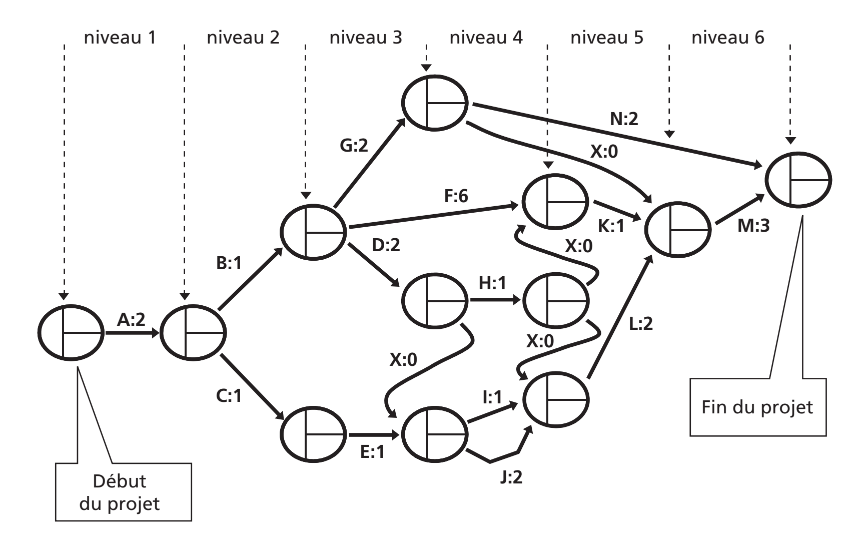


Figure 9.13 – Graphe PERT obtenu avec les niveaux et les antériorités

Troisième étape

Elle consiste à numéroter les sommets. La numérotation se fait généralement de gauche à droite dans la partie gauche des sommets (figure 9.14).

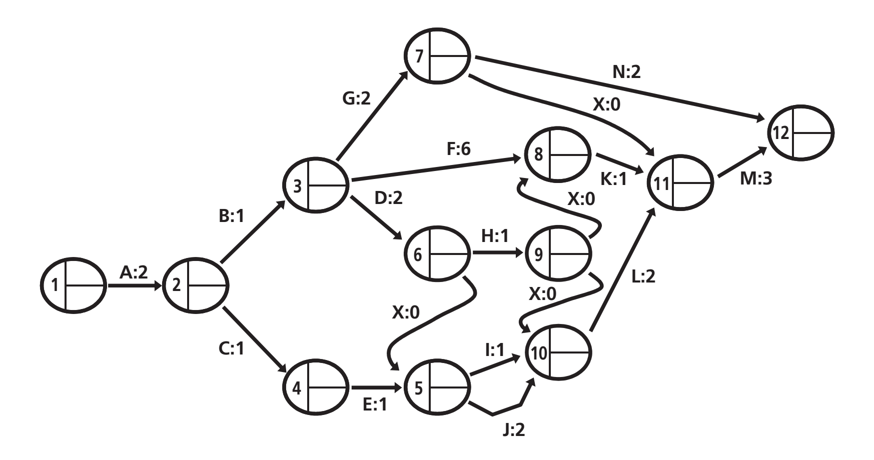


Figure 9.14 – Numérotation des sommets dans le PERT

Quatrième étape

On va chercher à déterminer les dates au plus tôt d'exécution des tâches.

On travaille de gauche à droite en additionnant les durées des tâches les unes aux autres, en prenant la plus grande valeur aux intersections. En effet, on ne

peut pas démarrer une tâche tant que toutes les précédentes ne sont pas terminées. On positionne les dates au plus tôt dans la partie supérieure droite des sommets (figure 9.15). On voit ici que le projet va durer treize semaines (l'ambition était de ne pas dépasser quatorze semaines).

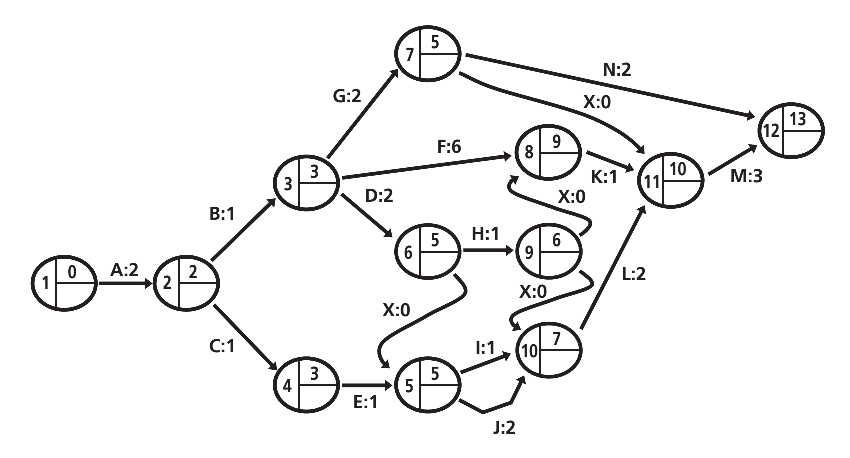


Figure 9.15 – Projet iTechMedia : calcul des dates au plus tôt

Cinquième étape

On va chercher à déterminer les dates au plus tard d'exécution des tâches.

On travaille de droite à gauche en soustrayant les durées des tâches les unes aux autres, à partir de la date finale, et en prenant la plus petite valeur aux intersections (puisqu'on ne peut pas commencer une tâche plus tard qu'au moment qui permet de réaliser le projet dans le délai défini). On positionne les dates au plus tard dans la partie inférieure droite des sommets (figure 9.16).

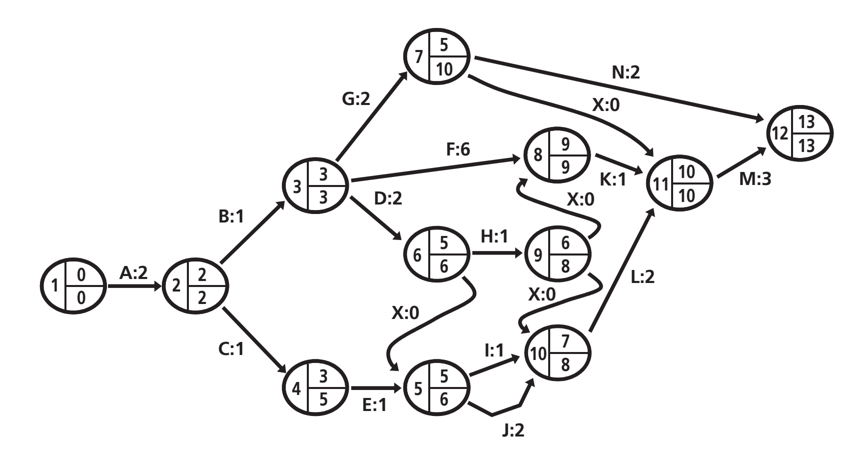


Figure 9.16 – Projet iTechMedia : calcul des dates au plus tard

Sixième étape

On peut déterminer pour chaque tâche son flottement.

> Flottement de la tâche = Date de début au plus tard de la tâche – Date de début au plus tôt de la tâche

Deux cas pour trouver le flottement d'une tâche :

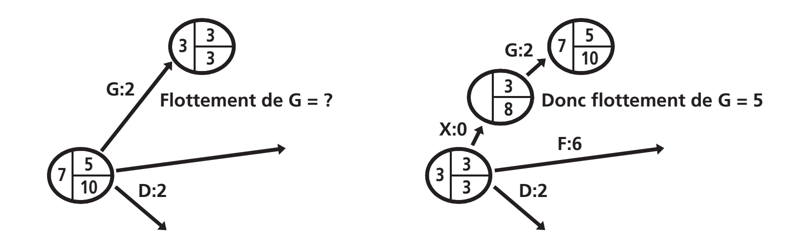
Premier cas : la tâche est seule derrière un sommet : alors, il suffit de regarder les dates au plus tôt et au plus tard inscrites sur le sommet et faire la différence.

Exemple flottement sur E = 5 – 3 = 2 semaines.

Cela signifie qu'on peut se permettre de prendre deux jours de retard sur la réalisation de la tâche E sans que cela modifie la durée globale de réalisation du projet.

Second cas : la tâche n'est pas seule derrière un sommet : il faut alors déterminer la date de début au plus tard de cette tâche. Une manière de faire est d'imaginer que l'on ajoute une tâche fictive entre le sommet et la tâche, de façon à se retrouver dans le premier cas.

Exemple flottement sur G = 8 – 3 = 5 semaines.



Ce qui revient finalement à calculer le flottement avec la formule suivante :

> Flottement de la tâche = Date de fin au plus tard de la tâche – Durée de la tâche – Date de début au plus tôt de la tâche

Les flottements pour toutes les tâches sont donc les suivants :

Tâches	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
Flottement	0	0	2	1	2	0	5	2	2	1	0	1	0	6

Remarque : lors d'un retard effectif sur une tâche, il faut recalculer les nouvelles dates de début et de fin et recalculer les flottements de toutes les autres tâches.

Septième étape

Il s'agit de la mise en évidence du chemin critique. Il passe par les tâches dites critiques (sans flottement), qui sont celles pour lesquelles la date de réalisation au plus tôt est égale à la date de réalisation au plus tard.

Ce sont des tâches pour lesquelles un retard éventuel de réalisation entraînerait une augmentation équivalente de la durée globale du projet.

Dans notre exemple, le chemin critique est : A, B, F, K et M. Il faudra donc être très vigilant et exigeant pour ces tâches, si l'on veut respecter l'échéance finale du projet.

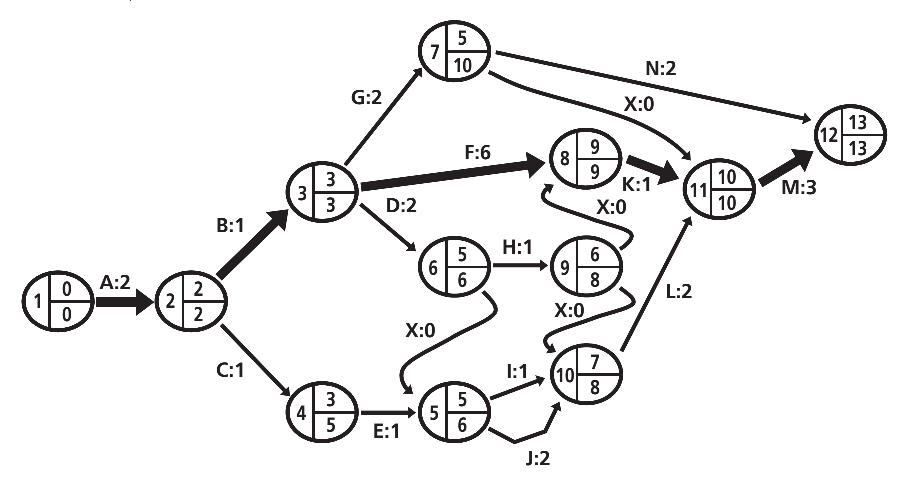


Figure 9.17 – Projet iTechMedia : mise en évidence du chemin critique

2.3. La notion de multi-PERT

La notion de réseau PERT correspond à la notion de gestion de projet comme nous l'avons déjà précisé. Quand le réseau d'ensemble de celui-ci devient trop complexe, on peut le diviser :

- soit, en un ensemble de sections qui seront organisées de manière indépendante ;
- soit, en un ensemble de niveaux hiérarchiques qui seront, eux aussi, gérés indépendamment les uns des autres.

2.3.1. *Les réseaux à sections multiples*

On divise le projet en différentes sections organisées de manière indépendante ce qui permet :

- au groupe de travail d'une section d'analyser et de modifier son propre réseau indépendamment des autres ;
- de connaître les responsables d'une avance ou d'un retard éventuel, et d'engager leur responsabilité.

Des événements de liaison permettent de coordonner les sections, les figures 9.18 et 9.19 en donnent deux exemples.

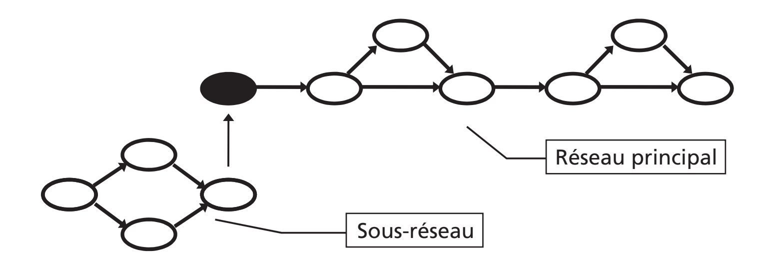


Figure 9.18 – Sous-réseau n'ayant qu'un seul événement de liaison

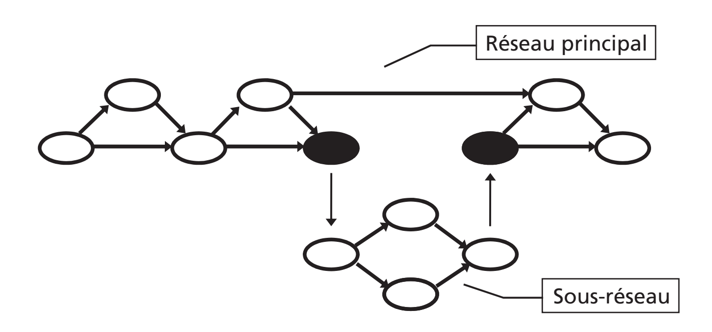


Figure 9.19 – Sous-réseau ayant deux événements de liaison

2.3.2. *Les réseaux à niveaux multiples*

On décompose le réseau global en un ensemble de réseaux selon différents niveaux hiérarchiques.

Un réseau de niveau inférieur est une extension d'une activité unique de niveau supérieur. Cette activité correspond en général à une activité qui est supposée importante ou génératrice de problèmes éventuels, et qui nécessite d'être suivie avec beaucoup d'attention.

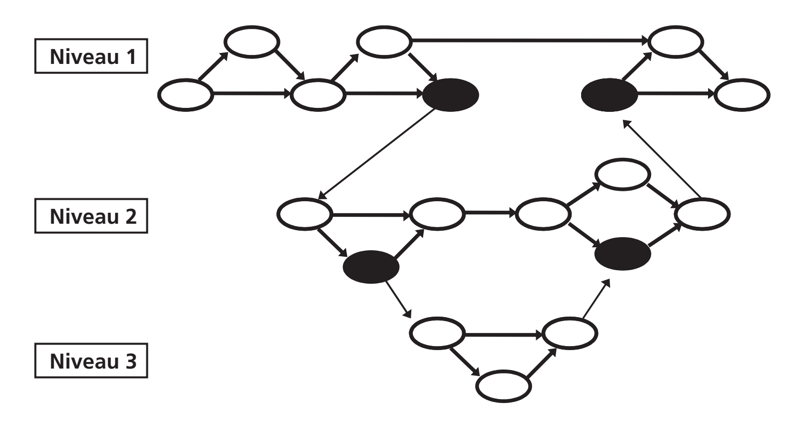


Figure 9.20 – Multi-PERT à niveaux multiples

- Au niveau 1, une seule activité fait l'objet d'une mention particulière nécessitant l'accès à un réseau inférieur, celui de niveau 2.
- Au niveau 2, une tâche fait l'objet d'une mention particulière nécessitant, elle aussi, l'accès à un réseau inférieur, celui de niveau 3.
- Une fois le réseau 3 terminé, on remonte au niveau 2.
- Une fois le réseau 2 terminé, on remonte au niveau 1, dont on termine l'exécution.

On peut effectuer des opérations de contrôle au niveau de l'exécution des différents réseaux, en évaluant, à intervalles de temps réguliers, le travail déjà effectué et celui qui reste à effectuer.

Les prévisions d'avance ou de retard peuvent ainsi être répercutées d'un réseau à l'autre, par le canal des événements de liaison.

2.4. Le PERT-coût ou PERT-cost

On peut reprocher au réseau PERT d'avoir pour seul objectif de minimiser la durée d'un projet, mais de ne permettre en aucun cas de déterminer le coût correspondant à la réalisation du projet.

Le système PERT-cost ou PERT-coût permet de pallier cette insuffisance. Il consiste en l'adjonction de procédures d'analyse des coûts au PERT traditionnel. On recherche les coûts correspondant à un ensemble de tâches homogènes (la détermination du coût de chaque tâche serait beaucoup trop longue, beaucoup trop complexe, beaucoup trop coûteuse et beaucoup trop inexacte) :

- coût de la main-d'œuvre ;

- coûts directs liés au travail ;
- coûts indirects liés au travail.

Le coût global du projet se calcule en faisant la somme des différents coûts de tous les groupes de tâches intermédiaires.

Le niveau de ce coût global du projet ne remet, en général, pas en cause l'ordonnancement établi. Pourtant, on peut considérer qu'un coût minimal peut être un objectif du réseau PERT.

Signalons ici pour mémoire que la méthode CPM, *Critical Path Method* (méthode du chemin critique), est fondée sur la relation durée-coût et a pour objectif, à partir d'une solution acceptable en termes de durée et de coût, de parvenir à une réduction maximale de la durée, pour une augmentation minimale du coût.

Cette analyse parallèle en termes de coût est essentielle, surtout pour un projet de grande envergure et de longue durée. Il peut, en effet, être catastrophique pour une entreprise de découvrir, à la fin de la réalisation du projet, que celui-ci a un coût dépassant largement le prix accepté et signé par le client quelques mois auparavant.

On parle aujourd'hui beaucoup de la notion de respect des délais. Mais, celui-ci ne doit pas se faire à n'importe quel prix !

3. Planning Gantt

C'est une méthode très ancienne, puisque datant de 1918, et pourtant encore très répandue, et même devenue un standard dès lors que l'on souhaite présenter un planning. L'utilisation du Gantt dans l'ordonnancement d'atelier est décrite dans le chapitre 6 : Pilotage des activités de production.

Ici, il s'agit de montrer que l'on peut représenter un projet sous la forme d'un planning Gantt. Nous allons reprendre le cas du projet de conception-industrialisation du nouveau baladeur BXXX d'**iTechMedia** (voir figure 9.8).

3.1. Gantt au plus tôt

On commence le plus tôt possible les tâches qui n'ont pas de tâches antérieures. On représente ensuite les tâches ayant pour antérieures les tâches déjà représentées et ainsi de suite… On parle alors de jalonnement au plus tôt. Le diagramme de Gantt permet de visualiser l'évolution du projet et de déterminer la durée globale de sa réalisation. On retrouve bien ici les treize semaines nécessaires pour mener à bien l'ensemble du projet.

	Tâches	Durée	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
A	Conception générale	2 semaines													
B	Conception carte électronique	1 semaine													
C	Conception pièces plastiques	1 semaine													
D	Réalisation prototype carte élec.	2 semaines													
E	Prototypage rapide du boîtier	1 semaine													
F	Recherche fournisseurs	6 semaines													
G	Mise au point du micro-logiciel	2 semaines													
H	Essai technique et validation	1 semaine													
I	Validation esthétique et fonctionnelle	1 semaine													
J	Préindustrialisation	2 semaines													
K	Choix des fournisseurs	1 semaine													
L	Industrialisation finale	2 semaines													
M	Présérie, mise au point et validation	3 semaines													
N	Mise au point de la doc électronique	2 semaines													

Figure 9.21 – Gantt au plus tôt

3.2. Gantt au plus tard

Pour le Gantt au plus tard, on raisonne à l'envers en partant de la fin du projet (semaine 13).

	Tâches	Durée	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
A	Conception générale	2 semaines													
B	Conception carte électronique	1 semaine													
C	Conception pièces plastiques	1 semaine													
D	Réalisation prototype carte élec.	2 semaines													
E	Prototypage rapide du boîtier	1 semaine													
F	Recherche fournisseurs	6 semaines													
G	Mise au point du micro-logiciel	2 semaines													
H	Essai technique et validation	1 semaine													
I	Validation esthétique et fonctionnelle	1 semaine													

	Tâches	Durée	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
J	Préindustrialisation	2 semaines							■	■					
K	Choix des fournisseurs	1 semaine										■			
L	Industrialisation finale	2 semaines									■	■			
M	Présérie, mise au point et validation	3 semaines											■	■	■
N	Mise au point de la doc électronique	2 semaines												■	■

Figure 9.22 – Gantt au plus tard

3.3. Flottement

On peut mettre en évidence les flottements existant sur certaines tâches. Un flottement correspond au temps de retard que l'on peut prendre sur une tâche particulière sans pour autant augmenter la durée globale de réalisation du projet. Ce sont des éléments de flexibilité qui permettent à l'entreprise de perdre un peu de temps sans conséquence. Pour déterminer le flottement à partir du Gantt, il faut considérer le Gantt au plus tôt et le Gantt au plus tard et regarder le décalage des tâches. Cela donne ici :

Tâches	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
Flottement	0	0	2	1	2	0	5	2	2	1	0	1	0	6

On retrouve les tâches du chemin critique A, B, F, K et M.

3.4. Calcul des charges

Si l'on associe à chaque tâche une ou plusieurs ressources, alors il est possible d'effectuer un calcul des charges qui montrera le besoin en ressources induit par la planification. Les ressources peuvent être des locaux, des machines, des ressources humaines, des matières, etc.

	Tâches	Durée	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
A	Conception générale	2 semaines	2	2											
B	Conception carte électronique	1 semaine			1										
C	Conception pièces plastiques	1 semaine			1										
D	Réalisation prototype carte élec.	2 semaines				3	3								
E	Prototypage rapide du boîtier	1 semaine				1									

	Tâches	Durée	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
F	Recherche fournisseurs	6 semaines				2	2	2	2	2	2				
G	Mise au point du micro-logiciel	2 semaines				2	2								
H	Essai technique et validation	1 semaine						1							
I	Validation esthétique et fonctionnelle	1 semaine						1							
J	Préindustrialisation	2 semaines						3	3						
K	Choix des fournisseurs	1 semaine										2			
L	Industrialisation finale	2 semaines								3	3				
M	Présérie, mise au point et validation	3 semaines											4	4	4
N	Mise au point de la doc électronique	2 semaines						1	1						
		TOTAL	2	2	2	8	7	8	6	5	5	2	4	4	4

Figure 9.23 – Nombre de personnes nécessaires

Dans l'exemple ci-dessus, on a déterminé le nombre de personnes qui seront affectées à chacune des tâches. Le calcul nous indique donc le nombre de personnes qui seront mobilisées chaque semaine pendant la durée totale du projet.

3.5. Conclusion

L'intérêt principal du Gantt réside dans sa simplicité de construction, de présentation et de compréhension. C'est un outil qui met visuellement en évidence la solution simple d'un problème.

Tous ces éléments expliquent l'utilisation encore très actuelle du Gantt. Par ailleurs, on peut constater que de nombreux et récents logiciels de type APS (*Advanced Planning and Scheduling*) intègrent les principes des diagrammes Gantt. Toutefois, son utilisation devient difficile quand le nombre de tâches ou de postes devient très important.

4. Les bonnes pratiques

Les entreprises sont de plus en plus confrontées à la réduction continue des cycles de vie des produits. Pour faire face à cette situation, elles se doivent de mettre en place une méthode pour réduire notablement le temps de développement de leurs nouveaux produits.

La méthode la plus couramment utilisée est l'ingénierie simultanée (*simultaneous engeneering*). Cette méthode, tout d'abord utilisée dans l'automobile, a pour objectif de permettre aux entreprises de mettre plus vite de nouveaux produits sur le marché, en réalisant en parallèle toutes les opérations ayant lieu entre l'étude de marché du nouveau produit et sa production, comme le montre la figure 9.24. Cette méthode va parallèlement créer un réseau humain autour du projet dans lequel les personnes de différents secteurs de l'entreprise qui n'ont pas l'habitude de travailler ensemble, vont collaborer efficacement.

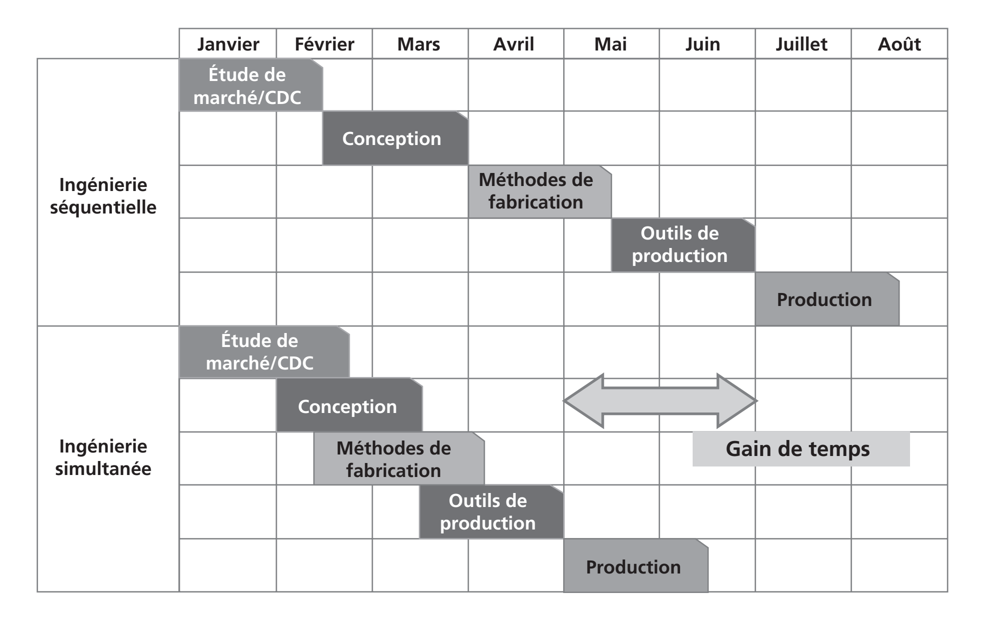


Figure 9.24 – Ingénierie simultanée et gain de temps

Concrètement, la première étape consiste à définir l'équipe projet multi-compétences dans laquelle on trouvera classiquement des personnes du marketing, du développement, de l'industrialisation, de la production, de la qualité, de la logistique, du contrôle de gestion, des représentants des fournisseurs… Toutes ces personnes n'entreront pas forcément au démarrage du projet. Cela dépendra des thèmes abordés lors des réunions d'ingénierie simultanée.

À partir de la constitution du groupe, les personnes vont passer environ un tiers de leur vie au travail en réunions pour faire avancer le projet. De cette période d'échanges très intenses et très rapides va dépendre la qualité du projet final. La validation d'étapes successives doit se faire avec la plus grande efficacité. On ne doit pas se donner le droit de valider une étape alors qu'on

sait parfaitement que différents aspects du projet ne sont pas complètement maîtrisés. Les risques associés pourraient être graves… On voit en effet dans les médias, à longueur d'année, des exemples d'erreurs liées à la pratique trop rapide de l'ingénierie simultanée, des entreprises qui rapatrient des modèles de leur gamme comportant des problèmes pour les corriger… L'image de l'entreprise peut alors en souffrir de façon importante, et le coût de ces opérations est en général très élevé…

L'utilisation de l'ingénierie simultanée s'est beaucoup développée dans la plupart des secteurs d'activité industrielle. Aujourd'hui, c'est une méthode reconnue et jamais remise en cause du fait de l'économie réelle de temps qu'elle permet dans le développement des nouveaux produits…

5. Conclusion

Nous avons décrit dans ce chapitre les deux méthodes d'aide à la gestion par projet : graphes PERT et planning Gantt.

Toutes deux sont des outils de visualisation. Le PERT a un avantage par rapport au Gantt : il met clairement en évidence les liens existant entre les différentes opérations. Cependant, contrairement au Gantt, un PERT réalisé manuellement est rapidement inconcevable du fait de sa complexité de construction.

Ces deux méthodes, pourtant déjà anciennes, sont toujours d'actualité grâce à leur intégration dans la plupart des logiciels de gestion de production et de gestion par projet. L'intégration d'algorithmes sophistiqués qui serait ingérable à la main rend les versions informatisées de ces méthodes d'une redoutable efficacité. On citera le plus connu des logiciels de gestion de projet : MSProject.

Chapitre 10

Gestion de production et système d'information

1. L'ÉVOLUTION DE L'OFFRE LOGICIELLE

1.1. Introduction

La gestion de production manipule un nombre très important de données. Elle est donc par nature intimement liée au système d'information (SI) de l'entreprise et à l'offre logicielle présente sur le marché qui a considérablement évolué ces dernières années. En effet, alors que très longtemps elle a été concentrée autour de la GPAO (Gestion de production assistée par ordinateur) et des logiciels d'ordonnancement et de suivi de production, on a vu apparaître de nombreux sigles nouveaux (ERP, SCM, APS, MES…) que nous allons définir dans ce chapitre. Cette évolution correspond à la fois à une évolution des fonctions de bases intégrées dans les logiciels de GPAO, mais également à une intégration de fonctionnalités connexes qui a considérablement modifié la portée de la gestion industrielle. Cette intégration s'est réalisée sous forme verticale (depuis la gestion du poste de travail jusqu'aux planifications stratégiques), mais aussi horizontale par la prise en compte des contraintes multisites et des relations clients-fournisseurs. Cette intégration horizontale prend un développement vital pour l'entreprise, avec le développement de l'e-commerce qui demande un raccourcissement extrême des délais entre la commande du client et le début de la chaîne logistique.

Dans ce chapitre, nous allons utiliser de nombreux acronymes. Afin de simplifier la lecture pour tous ceux qui ne sont pas habitués à ces appellations, nous regroupons ci-dessous les principales abréviations :

- APS : *Advanced Planning and Scheduling*
- CRM : *Customer Relationship Management*
- EAI : *Enterprise Application Integration*
- ERP : *Enterprise Resource Planning*
- GPAO : Gestion de production assistée par ordinateur
- MES : *Manufacturing Execution System*
- PDP : Programme directeur de production
- PIC : Plan industriel et commercial
- PGI : Progiciel de gestion intégré
- SCM : *Supply Chain Management*
- SGDT : Système de gestion des données techniques

1.2. Rôle et limites de l'informatique

L'informatique a trois fonctions essentielles. Elle permet :

- d'effectuer des calculs rapidement et sans erreur. Même s'il s'agit de calculs simples (additions, multiplications…), leur nombre très important les rend impossibles sans le concours d'un ordinateur ;
- de stocker de nombreuses données d'une manière fiable et pratique, à condition simplement d'organiser la base de données et d'effectuer les sauvegardes périodiques. Nous savons, notamment, qu'en matière de données techniques, l'entreprise a un nombre considérable de valeurs à stocker ;
- de gérer la circulation des informations, notamment par l'intermédiaire de réseaux (réseau interne, Intranet, Internet).

L'informatique est donc un outil précieux au service, entre autres, de la gestion industrielle. Mais il faut bien avoir à l'esprit qu'elle exige une rigueur sans faille. L'informatisation ne résout pas les problèmes existants : il faut mettre en évidence les dysfonctionnements et les corriger avant d'informatiser. En effet, rien n'est plus flexible que l'être humain et informatiser les dysfonctionnements est catastrophique.

On voit bien que la mise en place ou la réorganisation de la gestion industrielle d'une entreprise implique une démarche complète de projet et ne peut être réduite à la simple mise en place d'un progiciel, censé résoudre tous les problèmes.

1.3. Domaines d'application en gestion industrielle

Au sein de l'entreprise, l'informatique intervient essentiellement dans :

- la gestion des matières, c'est-à-dire l'approvisionnement, la gestion des divers stocks et en-cours, la distribution vers les clients internes (autres unités de la même entreprise) ou clients extérieurs ;
- la gestion des moyens de production, notamment les machines et la main-d'œuvre pour lesquelles il faut adapter charges et capacités ;
- la gestion administrative de la production, en établissant une planification puis un pilotage de l'exécution mais aussi en renseignant les autres fonctions de l'entreprise (comptabilité, finance, service des méthodes, bureau d'études…).

1.4. Retour sur l'offre traditionnelle

L'apport des progiciels est naturellement très différent selon les concepts de gestion de production employés dans l'entreprise. Une entreprise fabriquant des produits structurés à partir de composants parfois communs ou à partir de sous-ensembles standards, planifie sa production dans un contexte MRP2 (voir chapitre 5 : Planification détaillée et chapitre 7 : Planification globale).

Dans les entreprises fabriquant des produits complexes, unitaires et à cycle de production long, il s'agit de gestion de projet. Le progiciel doit alors gérer les tâches en s'attachant au respect des délais. Il est éventuellement possible de suivre les coûts (voir chapitre 9 : Gestion de projet). Le progiciel permet également de coordonner plusieurs projets et de gérer notamment les ressources communes.

Les travaux de systémique ont conduit à décomposer le fonctionnement de la gestion industrielle en sous-systèmes : le système physique, le système d'information et le système de décision. Le premier recouvre les ressources de l'entreprise qui permettent de fabriquer, le deuxième est le support des informations circulant autour des produits et des ressources alors que le troisième fera des choix et décidera.

Comme cela a été présenté précédemment et décrit par la logique de MRP2, les systèmes d'information et de décision ont été découpés selon une hiérarchie à 3 niveaux : le long terme correspondant au PIC, le moyen terme avec le PDP et le CBN, et le court terme au niveau de l'atelier (ordonnancement, suivi d'atelier). On peut y ajouter un niveau de très court terme pour le contrôle de commande. Cela correspond à des horizons de plus en plus courts (années, mois, semaines ou jours…) et un découpage en périodes de plus en plus fines (mois, semaines, jours, heures…).

Les logiciels traditionnels correspondent à cette hiérarchie :

- la GPAO couvre essentiellement les niveaux programmes directeurs de production, calculs des besoins nets avec les calculs de charge associés (elle intègre les fonctions associées de gestion des données techniques produits et ressources, gestion des stocks…). Les logiciels reprennent alors les diverses fonctions décrites au chapitre 5. On peut les résumer en citant :
  - les prévisions de la demande normalement réalisées par le service commercial (voir chapitre 4 : Prévision de la demande) ;
  - la planification globale par familles de produits (PIC) très simple (et qui est donc parfois réalisée avec l'aide d'un tableur) ;
  - la planification détaillée des produits finis ou modules standards (PDP) ;
  - le calcul des besoins en composants et matières premières conduisant à une proposition des ordres de fabrication et d'approvisionnement et le calcul des charges détaillées ;
  - la gestion des stocks ;
  - les coûts de revient prévisionnels ou réels ;
  - …
- les logiciels d'ordonnancement organisent le court terme dans l'atelier, en positionnant les travaux en fonction des ressources en hommes et en machines. Certains progiciels incorporent des modules juste-à-temps (JAT) afin de faire le lien entre la planification de type MRP2 et un fonctionnement des ateliers en JAT. Il peut notamment y avoir une édition de cartes Kanban pour des produits qui tireront la production des postes amont ;
- les logiciels de suivi servent d'interface entre le système physique et le système d'information, et alimentent ce dernier.

On constatait donc une adéquation de l'offre logicielle traditionnelle au découpage du temps proposé dans les chapitres précédents.

Outre ces logiciels de planification et de pilotage de la production, on peut également noter les outils de simulation de flux. Ils permettent de créer un modèle pour simuler des flux physiques ou d'information. Ils ne sont pas encore très répandus dans les entreprises à cause de leur coût et de la difficulté d'utilisation et d'interprétation. Ceci est vrai en particulier pour les petites entreprises qui ne les utiliseraient que de temps à autre. Or, ces outils sont d'un intérêt considérable car ils permettent de résoudre assez rapidement des problèmes complexes, et surtout d'obtenir les résultats sans réaliser les essais réels.

Dans la fonction gestion de la production, la simulation est intégrée à la fois à la démarche de conception et à la conduite du processus. Elle a en effet deux objectifs essentiels :

- aider à la conception et à l'implantation des ateliers, c'est-à-dire à la définition du système projeté et à l'évaluation de son comportement (méthode complémentaire à celles vues au chapitre 14 : L'implantation d'atelier) ;
- aider à la conduite du processus de production, c'est-à-dire au choix parmi diverses solutions, à l'évaluation du carnet de commandes, à l'étude de fonctionnements dégradés par les aléas, à la planification des maintenances…

Les méthodes de simulations employées sont fondées sur la gestion de files d'attente, sur des modèles graphiques (GRAFCET, réseaux de PETRI) et maintenant sur les approches objets introduites en informatique. La tendance est de réaliser des outils conviviaux et simples à utiliser, tout en conservant puissance et utilisation générale à un coût abordable, notamment par les petites entreprises.

1.5. L'évolution par l'intégration

Une grande tendance s'est développée et a conduit aux progiciels arrivés sur le marché à la fin du siècle dernier : c'est la notion d'intégration. En effet, l'entreprise qui informatisait ses fonctions se retrouvait avec des logiciels indépendants les uns des autres. Ceux-ci ne pouvant pas échanger entre eux, il s'ensuivait une saisie multiple des mêmes données avec évidemment des risques d'erreurs et même de contradictions ! Au-delà d'un échange par interfaçage, c'est-à-dire par des liaisons « point à point » reliant les différents logiciels, l'idée la plus rationnelle a été de construire un ensemble de logiciels autour d'une base de données commune. Il en résulte une intégration des fonctions de l'entreprise (processus transversaux). En outre, on comprend toute la démarche commencée par les grands groupes afin d'unifier les méthodes de travail entre différents sites et d'obtenir aisément l'ensemble des données de toutes natures (et notamment financières) des divers sites. Au-delà, le même principe d'intégration appliqué à l'environnement d'une entreprise (fournisseurs et clients) conduit au processus transversal interentreprises de chaîne logistique.

La nature de l'intégration peut être plus ou moins profonde, allant de l'interfaçage d'applications existantes à la base de données unique servant à tous les modules.

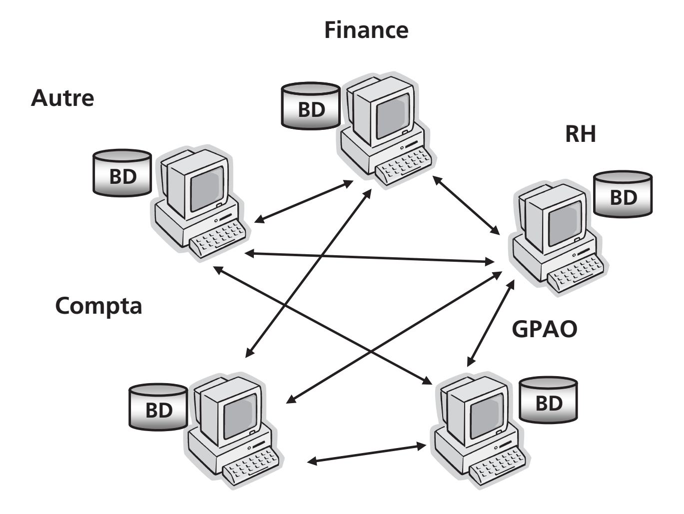


Figure 10.1 – Intégration « point à point »

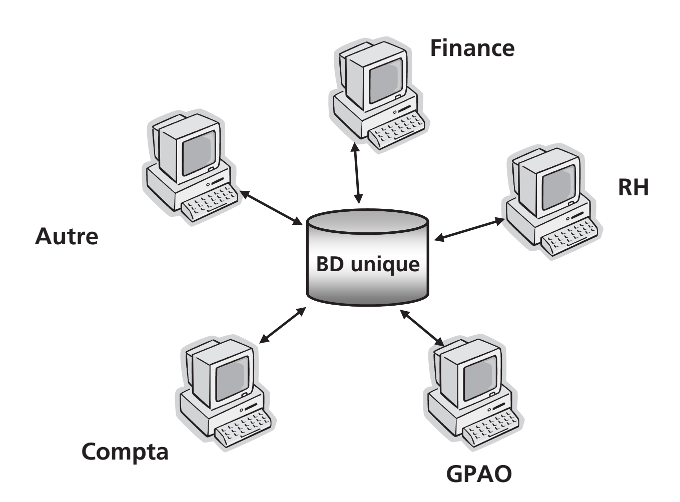


Figure 10.2 – Intégration type ERP

L'interfaçage d'applications existantes est une connexion de type point à point (figure 10.1) qui a engendré, par le passé, beaucoup de travail pour les sociétés de services informatiques (SSII) puisqu'il faut N(N-1)/2 interfaces pour connecter *N* modules. Il s'agit donc d'une approche lourde, coûteuse et peu pérenne (en cas d'évolution des logiciels). En revanche, elle présente l'avantage d'utiliser les logiciels très pointus pour chaque fonctionnalité.

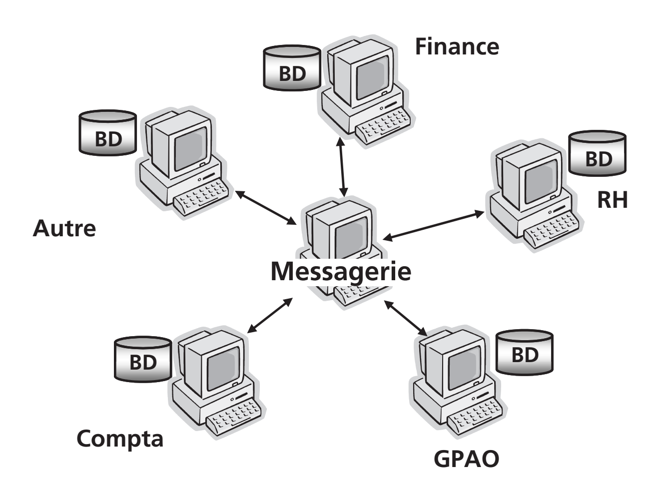


Figure 10.3 – Intégration type EAI

Comme nous l'avons dit, les éditeurs d'ERP ont opté pour le développement de gros logiciels couvrant l'ensemble des fonctions permettant de gérer l'entreprise (figure 10.2). La plupart du temps, ils sont partis d'un noyau dur concernant une application particulière (la production, la finance…) et ont gonflé leur offre par développement d'applications supplémentaires ou par intégration d'applications existantes. On s'attend à ce que l'unicité de l'information soit assurée par une base de données unique, commune aux divers modules. Ce n'est pas toujours le cas mais l'utilisateur ne le voit pas *a priori*. Dans ce contexte, le rôle des SSII a évolué vers le déploiement de l'ERP qui nécessite une réorganisation en profondeur de l'entreprise, de ses données, puis un paramétrage du progiciel devant s'adapter aux spécificités de l'entreprise. La SSII assurera, en outre, un certain nombre de développements adaptés au fonctionnement spécifique de l'entreprise.

Une autre solution, séduisante mais encore peu utilisée, est constituée par les EAI (*Enterprise Application Integration*) qui permettent d'interfacer les diverses applications de gestion informatique de l'entreprise existante (figure 10.3). Cet interfaçage standard est constitué d'un moteur d'intégration (*Message Broker*) qui permet aux applications de communiquer entre elles grâce à une couche basse de transport de données (*Middleware*). Ces solutions cherchent à se positionner comme alternative aux ERP mais aussi comme complément. C'est sans doute d'ailleurs comme complément que l'avenir des EAI est le plus ouvert.

En effet, quel que soit l'ERP, il existera toujours, dans un coin ou dans un autre, un logiciel traitant un point particulier du métier de l'entreprise qui aura besoin de communiquer. Dans ce cas, se reposera le problème de la connexion point

à point des logiciels. Par ailleurs, il n'est pas rare que dans de grands groupes et par le jeu des rachats d'usine, on trouve des sites de production qui utilisent des ERP différents, ce qui pose aussi le cas du dialogue entre eux…

En ce qui concerne leur structure, les EAI les plus performants sont organisés pour matérialiser, dans le système d'information, les processus de l'entreprise. Ainsi, dans la figure 10.4, on a représenté le processus de revue de contrat existant dans le référentiel ISO 9000 de l'entreprise matérialisé dans l'EAI. Bien que l'entreprise soit équipée d'un ERP très sophistiqué, on constate néanmoins qu'il reste un certain nombre de connexions nécessaires entre des applications très différentes :

- on doit récupérer les données techniques et administratives de la commande directement du client ;
- le calcul de devis étant très spécifique, il a été développé en solution locale sur un tableur ;
- la vérification de la capacité pour accepter le délai nécessite un dialogue avec l'ERP ;
- l'acceptation doit être transmise au client ;
- les plans d'exécution devront être réalisés grâce à la CAO de l'entreprise et seront associés au dossier client ;
- tout au long du processus, les différents acteurs doivent être informés de l'avancement de la procédure et parfois donner leur accord. Cela nécessite une connexion avec la messagerie interne de l'entreprise.

Une application EAI performante doit être capable de décrire les procédures de l'entreprise et de définir les connexions nécessaires entre les différents systèmes. Elle doit, bien entendu, fournir les outils capables de configurer toutes ces connexions depuis ou vers les différents systèmes hétérogènes.

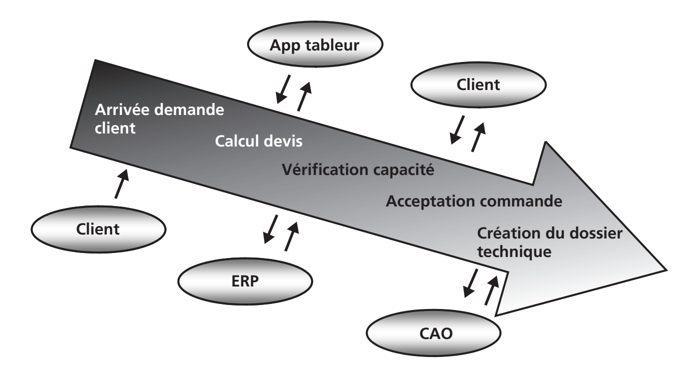


Figure 10.4 – EAI à partir des processus

L'intégration horizontale du système d'information pousse à un échange d'information de plus en plus important entre différentes entreprises. Si l'ERP monolithique s'est plus ou moins imposé au sein d'une même entreprise, il semble difficile d'envisager qu'un macro-ERP permette en un seul produit de faire fonctionner l'ensemble de la chaîne logistique. Dans ce contexte, l'EAI s'impose comme étant une solution prometteuse. Capable de garantir les échanges entre deux ERP, l'EAI est *a fortiori* capable d'assurer l'échange d'information entre plusieurs applications assurant chacune une fonction de l'ERP.

2. Les ERP (*Enterprise Resource Planning*)

2.1. Définition

Un ERP ou progiciel de gestion intégré (PGI) est destiné à la gestion globale des différents flux de l'entreprise aux niveaux stratégique, tactique et opérationnel. Il met en commun, pour les diverses entités et fonctions, l'ensemble des données nécessaires à cette gestion dans une base de données unique.

Nous reprendrons les définitions complémentaires données par deux organismes réputés compétents en la matière : le CXP, organisme français (conseil sur les systèmes d'information à base de progiciels, www.cxp.fr) et l'APICS, association américaine (*Association for Operations Management* ex-*American Production Inventory Control Society*, www.apics.org) de notoriété internationale. Nous les compléterons par le standard extrait du marché.

Pour le CXP, un progiciel de gestion d'entreprise est dit intégré s'il vérifie l'ensemble des conditions suivantes : il émane d'un fournisseur unique, il garantit l'unicité de l'information, il assure une mise à jour en temps réel des données et il fournit les éléments d'une traçabilité totale des opérations.

L'APICS considère qu'un ERP est un système d'information orienté comptabilité permettant de gérer toutes les ressources nécessaires à satisfaire le besoin du client. Il correspond à une extension des systèmes MRP2 comportant les technologies suivantes : base de données relationnelle, architecture client-serveur, interface homme-machine unifiée et commune, système ouvert…

Ces définitions ne donnent pas de précision sur les aspects fonctionnels mais la concentration du marché sur quelques éditeurs permet d'identifier clairement cinq domaines de compétence :

- gestion de la production ;
- gestion des stocks, des approvisionnements et des achats ;

- gestion commerciale ;
- gestion des ressources humaines ;
- gestion comptable et financière.

2.2. Fonctionnalités et modularité

Les cinq domaines décrits ci-dessus, assez généraux, se décomposent en sous-groupes qui correspondent à peu près au découpage modulaire des logiciels proposés :

- la gestion financière a pour objectif de maîtriser la situation financière de l'entreprise. Elle gère les livres comptables, les comptes des clients et des fournisseurs, les immobilisations. Elle permet également de consolider les états financiers des diverses filiales ;
- le contrôle de gestion permet d'analyser, à l'aide de tableaux de bord, la rentabilité de l'entreprise sous divers angles (par produit, par processus, par types d'activité…) ;
- la gestion de projet planifie et contrôle les étapes d'un projet, et la disponibilité des ressources nécessaires à sa réalisation ;
- l'administration des ventes gère les différentes activités commerciales envers les clients, dont les supports de vente, la facturation, la gestion des expéditions ;
- la gestion des ressources humaines met à disposition les outils permettant de gérer le personnel. Au-delà de la gestion des salaires et des activités corollaires, elle gère le recrutement, les absences et les congés du personnel, et surtout, de plus en plus, les compétences des personnes ;
- la gestion de la qualité assure l'enregistrement et la traçabilité des informations relatives à l'élaboration des produits ;
- la gestion de la production supporte la planification et l'exécution de la production sur les différents horizons, comme nous l'avons décrit précédemment (PIC, PDP, CBN), et elle gère les données techniques associées comme dans les progiciels de GPAO ;
- la gestion des achats gère le processus d'achat auprès des fournisseurs, avec notamment leur évolution et le contrôle de la facturation ;
- la gestion des approvisionnements et des stocks planifie les besoins en matières et composants achetés, en optimisant niveaux des stocks et des emplacements.

Ces diverses catégories se retrouvent dans les différentes offres du marché. Elles constituent le noyau du système d'information et serviront aux différents

acteurs de l'entreprise. L'adaptation à l'entreprise de ces progiciels est réalisée par un paramétrage important, qui nécessite un effort considérable de structuration de l'entreprise pour « faire coller » son mode de fonctionnement aux possibilités du progiciel.

3. Les MES (*Manufacturing Execution System*)

3.1. Définition

Il s'agit d'une intégration au niveau de l'atelier. En effet, à ce niveau-là, les nombreuses fonctions qui se sont développées ont donné lieu à des applications informatiques : ordonnancement de la production, suivi de production, suivi des heures et des personnes, gestion de la qualité, suivi statistique de la qualité, gestion de la maintenance, gestion de la documentation et des données techniques, suivi des actions correctives.

Dans le même esprit qu'au paragraphe 2, la redondance des informations, en entrée ou en sortie, a conduit à la nécessité d'unicité de l'information et donné naissance à une nouvelle offre logicielle : les MES.

3.2. Fonctionnalités

Les divers MES du marché présentent des différences parmi les fonctions assurées car les éditeurs se sont souvent spécialisés selon leur cible d'activité. Toutefois, on peut s'appuyer sur les onze fonctionnalités identifiées par une association regroupant des sociétés impliquées dans le domaine des MES (éditeurs, consultants…), MESA International :

- ordonnancement à capacité finie (*Operations/Detail Scheduling*) qui définit le séquencement des opérations jugé optimal ;
- gestion des ressources de production (*Resource Allocation and Status*) qui définit l'utilisation et assure le suivi du personnel, des machines, des outils et de la matière ;
- la gestion des ordres de fabrication (*Dispatching Production Unit*) qui gère le flux des ordres et des lots, et s'assure que tout ce qui est nécessaire sera disponible au moment du lancement ;
- la gestion des documents (*Document Control*) relatifs aux produits, aux process, à la conception et aux ordres de fabrication, et parfois aux conditions de travail et aux certifications ;
- la traçabilité des produits (*Product Tracking and Genealogy*) qui suit les produits en temps réel afin de conserver l'historique complet des composants utilisés et des conditions de production de chaque produit fini ;

- l'analyse des performances (*Performance Analysis*) qui suit les divers indicateurs de performance concernant les opérations de production (taux d'utilisation, temps de cycle, TRS…) ;
- la gestion du travail (*Labor Management*) assurant le suivi des temps machines et opérateurs, des activités indirectes (outils), du statut des opérateurs ;
- la gestion de la maintenance (*Maintenance Management*) assurant le suivi et la planification des activités de maintenance périodique ou préventive (alarmes, historique…) ;
- la gestion des process (*Process Management*) pour maîtriser la production avec correction et amélioration des activités (par exemple, alarmes si dépassement de tolérance, ou mieux, des limites naturelles) ;
- la gestion de la qualité (*Quality Management*) assure l'enregistrement et la traçabilité des informations relatives à l'élaboration des produits, le suivi des actions correctives et la capitalisation des connaissances (*Knowledge Management*) ;
- l'acquisition de données (*Data Collection*) fournissant des interfaces pour collecter des données en temps réel sur les équipements de l'entreprise, ou par relevé manuel des opérateurs.

3.3. L'offre du marché

Les MES se situent au niveau opérationnel des entreprises, or, leurs modes de fonctionnement sont assez divers. Les besoins sont alors très variés, et les éditeurs de logiciels proposent aujourd'hui des produits généralistes modulaires destinés à coller à l'éventail de la demande.

Certains éditeurs se sont spécialisés dans une fonction particulière du MES comme la maintenance (GMAO, gestion de la maintenance assistée par ordinateur) ou la gestion de la qualité (GQAO). D'autres, au contraire, ont visé un secteur industriel ou un type de process, et proposent une offre transversale plus ou moins complète. Dans ce cas, les progiciels ont tendance à déborder de la fonction de gestion de l'atelier vers le niveau de l'entreprise.

On pourra remarquer que certains éditeurs d'ERP proposent quelques fonctionnalités « hautes » du MES. Par ailleurs, les fournisseurs d'automatismes proposent souvent des logiciels de supervision avec leurs matériels, et fournissent généralement les fonctionnalités « basses » du MES.

Nous ajouterons que certains produits de l'offre peuvent s'interfacer avec des logiciels spécialisés comme la GMAO (gestion de la maintenance assistée par

ordinateur) ou les APS (*Advanced Planning and Scheduling System*), destinés à traiter la planification et l'ordonnancement et que nous décrirons dans le paragraphe suivant.

4. Les APS (*Advanced Planning and Scheduling System*)

4.1. Définition

Les APS ont commencé à apparaître au milieu des années 1990. Leur positionnement vis-à-vis des progiciels de la gestion industrielle est original. En effet, alors que les logiciels décrits précédemment n'opèrent que des transactions sur la base de règles définies *a priori* et que seul l'homme fait des choix parmi plusieurs possibilités, les APS vont au contraire introduire la prise de décision.

4.2. Fonctionnalités

Le but de la gestion de production est de satisfaire la demande externe grâce aux ressources de l'entreprise (stocks, machines, hommes, sous-traitance…) avec des contraintes de satisfaction du client et de coût de revient. Les questions fondamentales qu'elle se pose sont :

- quoi ? choix de ce qu'il faut fabriquer, approvisionner, sous-traiter…
- où ? choix de machine, atelier, site…
- quand ? positionnement dans le temps pour satisfaire au moment de la demande ;
- comment ? procédé, gammes, ressources humaines…

Les systèmes MRP2 réagissent aux demandes fournies à l'aide de paramètres fixés par les hommes (horizons, périodes, lots, gammes, postes, lancement des calculs, choix de sous-traitance…) : ils ne font donc que des transactions et ne prennent pas de décisions (validation des PDP, lancement des OF…). Les logiciels d'ordonnancement entrent dans une boucle de décision plus complexe puisqu'ils positionnent dans le temps des opérations sur des ressources machines selon des gammes et en affectant des opérateurs, le tout avec des contraintes de disponibilité (dont les calendriers) et de compétence. Ils travaillent avec une certaine intelligence grâce à un algorithme mais ne choisissent pas une gamme secondaire à la place de la principale où les calendriers sont fixés… donc ils n'ont pas le rôle décisionnel confié à l'homme.

Pour prendre les décisions, l'homme modélise ses problèmes et cherche la meilleure solution par optimisation ou simulation. L'APS va jouer ce rôle : il

permettra de modéliser des contraintes, d'exprimer des fonctions de coût et de rechercher des valeurs de variables de décision qui optimisent les critères. L'optimisation est réalisée grâce à des moteurs de résolution fondés sur la programmation linéaire ou des outils de programmation de contraintes. Ainsi, l'APS pourra, par exemple, proposer les meilleurs choix de gamme, les meilleures affectations, les sous-traitants appropriés selon les critères choisis. Ils pourront être utilisés non seulement au niveau interne à l'entreprise (ordonnancement ou calcul des besoins), mais aussi au niveau global de la chaîne logistique.

Le gros avantage de cette nouvelle vision est de supprimer le découpage en niveaux successifs des niveaux de nomenclature (entre ateliers mais aussi entre entreprises) avec des délais fixés, pour lui substituer une vision de l'ensemble de la chaîne logistique couvrant tous les ateliers ou les usines concernées. Il y a suppression des frontières spatiales et des horizons figés, pour aller vers une vision en temps réel de l'ensemble.

Le principal inconvénient réside justement dans cette soi-disant suppression des frontières. On risque de voir des entreprises vouloir supprimer les couches hautes de la GPAO (PIC et PDP) pour gérer l'ensemble de la production à partir d'un APS. Passé par la moulinette de l'arborescence des produits, le moindre problème de capacité qui ne sera plus géré au niveau PIC se démultipliera en de multiples problèmes, accroissant de façon considérable la complexité des solutions MES.

Partant du constat qu'un ERP n'est qu'une calculatrice perfectionnée, la figure ci-dessous illustre la résolution d'un problème sans APS (c'est le gestionnaire qui cherche la solution), et avec APS (c'est lui qui apportera des solutions dans des situations qui auront auparavant été modélisées).



Figure 10.5 – ERP sans ou avec APS

4.3. Le marché des APS

Il y a trois grandes familles dans les APS selon leur origine. Certains proviennent de la logistique et du transport avec gestion des entrepôts, d'autres dérivent de l'ordonnancement, d'autres encore correspondent à l'offre ERP. La majeure partie de l'offre vise la gestion globale de la chaîne logistique.

5. Les SGDT (système de gestion de données techniques)

5.1. Définition

Les SGDT (ou PDM, *Product Data Management*) sont issus du monde de la CAO (conception assistée par ordinateur). À l'origine, ils étaient utilisés pour la gestion des données d'ingénierie mais ils ont pris, au fur et à mesure, une tout autre dimension. Ils fournissent un référentiel de données produit/process partagées par les acteurs de l'entreprise, qu'ils soient créateurs ou utilisateurs d'informations sur les produits. Leur vocation s'est donc étendue, et ils constituent un support au système d'information centré autour du produit.

La gestion des données techniques est un point extrêmement important pour une entreprise. Toutes les méthodes que nous avons développées dans cet ouvrage reposent sur des données techniques. Un point fondamental qu'il est bon de répéter, est celui de l'indispensable fiabilité des données, comme nous l'avons souligné au chapitre 2. En effet, comment envisager de planifier et piloter une production avec des données erronées ?

Mais d'un point de vue informatique, la difficulté ne s'arrête pas là. En effet, les données techniques doivent pouvoir être mises en forme selon différents points de vue. Par exemple, à partir d'un produit fini, je dois être capable de voir :

- l'arborescence des composants du produit ;
- pour chaque composant, la liste des opérations de fabrication ;
- pour une opération de fabrication, la liste des documents de travail nécessaires.

Cette première arborescence est une vision produit, mais on peut avoir une vision processus en partant d'une instruction de travail sur un poste pour lequel je veux connaître :

- la liste des opérations pour lesquelles elle est applicable ;
- la liste de composants concernés par cette instruction ;
- la liste des produits finis comportant un tel composant.

Enfin, une des difficultés majeures réside encore dans l'intégration. En effet, les données techniques ne sont jamais issues d'un seul et même logiciel, et pourtant, un SGDT doit être capable de gérer l'ensemble des formats de fichiers.

5.2. Fonctionnalités d'un SGDT

Tout d'abord, une première exigence d'un SGDT est d'être une sorte d'armoire électronique sécurisée puisqu'il assure le stockage, l'accès sécurisé et le partage de l'information technique pour l'ensemble des acteurs de l'entreprise.

Un tel logiciel permet ensuite de classer et de regrouper l'information dans le but de faciliter la standardisation, la réutilisation et la recherche de l'information (familles d'objets, typologies de liens, bibliothèques de composants).

Le SGDT gère la configuration du produit et son évolution, mais au travers de vues adaptées aux multiples intervenants, et peut agréger les données au sein de dossiers spécifiques (dossier de définition, dossier d'exécution, dossier de configuration finale) suivant la vie du produit.

Les SGDT doivent gérer les modifications des processus industriels et l'évolution des produits. Ces processus sont généralement considérés comme des processus de *workflow* (gestion des flux d'informations) c'est-à-dire une démarche consistant à concevoir, contrôler, automatiser, et suivre les circuits du flux des documents et plus généralement de l'information dans l'entreprise.

Enfin, bien que non spécifique des SGDT, la gestion de projet est une brique nécessaire dans la planification et le suivi des tâches et des ressources à toutes les étapes de la vie du produit. À ce titre, c'est un élément permettant le pilotage et l'intégration des processus informationnels aux niveaux décisionnel et opérationnel de l'entreprise.

6. SCM (*Supply Chain Management*)

Pour compléter les outils existants des solutions de *Supply Chain Management* (SCM) qui veulent aller au-delà des PGI ou ERP ont émergé. Les logiciels de SCM recouvrent les outils de gestion de la chaîne logistique globale qui visent à produire et à distribuer une marchandise au meilleur coût et dans les délais les plus courts, en considérant le flux des fournisseurs jusqu'aux clients finaux en passant par les grossistes et les détaillants. Les logiciels de SCM permettent notamment de rationaliser la gestion de la demande, des entrepôts, de la logistique, du transport ainsi que le cheminement des matières à travers les différentes phases de leur transformation en produits finis.

6.1. Fonctionnalités d'une SCM

Les logiciels de SCM couvrent et intègrent un vaste panel de domaines fonctionnels : achat, production, distribution, stockage/gestion d'entrepôt, transport, gestion de la demande, service après-vente, commerce international.

6.2. Avantages des logiciels de SCM

- Une optimisation de la chaîne d'approvisionnement (logistique amont).
- Une amélioration de la qualité du service à la clientèle par la diminution des ruptures de stocks.
- Une réduction du coût de stockage.
- Une réduction des coûts d'exploitation dans l'ensemble de l'entreprise.
- Une meilleure visibilité et maîtrise de la logistique de distribution (logistique aval).
- Une certaine flexibilité permettant de s'adapter rapidement aux changements des conditions du marché, et de procéder aux ajustements nécessaires sans que cela ne soit au détriment des clients.
- Une optimisation de la chaîne de valeur visant la réduction des coûts et l'augmentation des profits.

7. Conclusion

Les ERP, les SCM et les MES correspondent à la notion d'intégration des différentes fonctions de l'entreprise et la création de processus transversaux. On y retrouve bien un noyau de progiciels de GPAO, de gestion comptable ou financière qui se sont développés par ajout d'applications et de fonctionnalités autour d'une base de données commune. On reconnaît là une évolution rationnelle et conventionnelle du support informatique de l'entreprise.

Au contraire, les APS correspondent à une intégration comportant un esprit nouveau puisqu'il y a intégration de la décision et qu'ils portent sur l'ensemble de la chaîne logistique. Cette approche est donc beaucoup plus révolutionnaire, avec une filiation logicielle moins naturelle à partir des logiciels de la gestion industrielle.

Quant aux SGDT ou PDM, nous les avons cités ici car ils touchent aux diverses fonctionnalités de la gestion industrielle et de ses processus transversaux. Ils ont la caractéristique d'être centrés sur les informations des produits et constituent un sous-ensemble du système d'information.

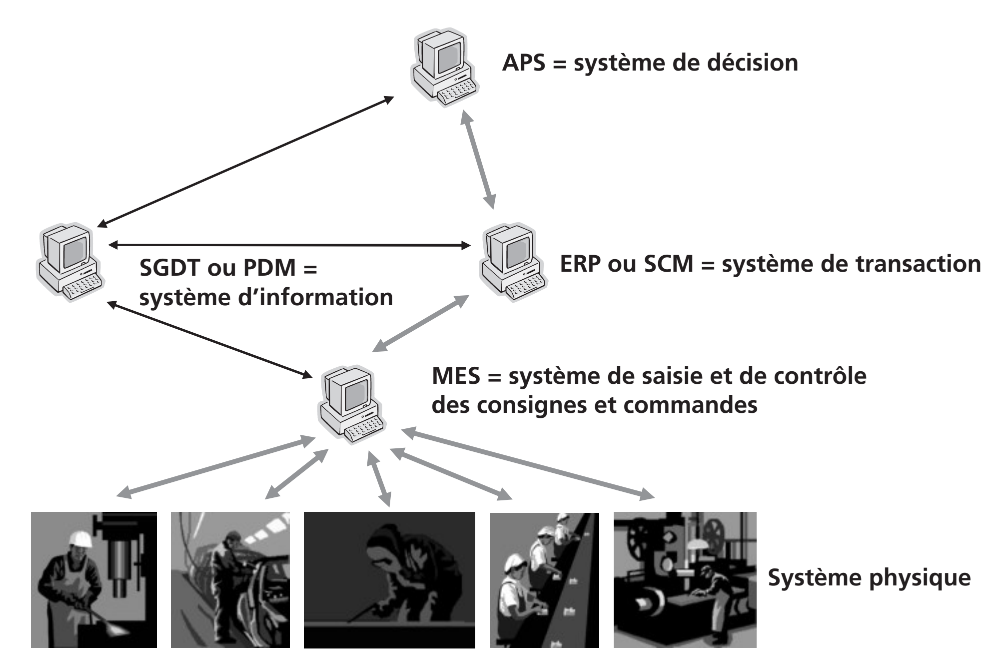


Figure 10.6 – Structuration des différents systèmes de gestion et de décision

Chapitre 11

L'entreprise en mouvement avec le *Lean*

1. INTRODUCTION

1.1. Le mouvement

Dans les chapitres précédents de cet ouvrage, nous avons présenté les démarches et méthodes permettant d'optimiser et de gérer efficacement les flux d'une entreprise. Dans les chapitres qui suivent, nous nous intéresserons davantage aux approches qui permettent de mettre l'entreprise « en mouvement ». En effet, dans un monde en perpétuelle évolution, il faut être capable de réagir au plus vite, de s'adapter, de progresser. L'objectif n'est plus la gestion du « changement » mais la gestion du « mouvement ». Le changement implique souvent l'évolution d'un état stable vers un autre état stable. Mais ce n'est pas un état stable que l'on doit rechercher, c'est plutôt un déséquilibre positif qui permet à l'entreprise d'avancer perpétuellement.

On peut faire l'analogie avec la marche d'un être humain. Pour marcher, pour avancer, il faut être capable d'apprendre à gérer un léger déséquilibre, et plus on veut courir vite, plus il faut être capable de gérer un déséquilibre important. À l'image du sportif, plus celui-ci s'entraîne, plus le mouvement devient un plaisir, un besoin.

L'esprit du *Lean* est bien dans cette image du mouvement, et du plaisir dans le mouvement. Faire du *Lean* c'est progresser, faire évoluer ses savoirs, ses savoir-faire, ses savoir être avec enthousiasme. C'est d'ailleurs ce qui est le plus remarquable dans les entreprises les plus avancées dans le *Lean*, cet

enthousiasme vers le progrès, cette conscience profonde que l'état actuel n'est qu'une étape dans un chemin sans fin.

Le concept du *Lean* repose sur la recherche de produits collant parfaitement aux attentes des clients, à des coûts exceptionnellement bas et d'une qualité exceptionnelle.

1.2. Historique du *Lean Management*

Le *Lean* a été développé au départ par Toyota à partir des années 1950 pour aboutir par progrès successifs au *Toyota Production System* (TPS). La figure 11.1 donne une des premières représentations de la « Maison », système de production Toyota. Ce premier modèle, paru dans l'ouvrage *Toyota Production System* de Taiichi OHNO, était fondé sur deux piliers :

- Le juste-à-temps.
- Le Jidoka qui a été traduit par **autonomation**, qui consiste à interdire à une non-qualité de se propager dans la production. Lorsqu'une machine commence à constater que les pièces qu'elle produit sont de moins bonne qualité, elle s'arrête automatiquement.

Ces deux piliers reposent sur des fondations garantissant la stabilité avec :

- le Heijunka qui consiste à équilibrer ou à lisser le programme de fabrication de l'entreprise afin de stabiliser les flux de production ;
- le travail standardisé, qui stabilise la façon de faire les choses. Lorsqu'une façon de faire a prouvé son efficacité, on la standardise afin d'éliminer une source de variabilité ;
- Le Kaïzen qui signifie le « changement » pour le « bien ». L'objectif étant de développer l'amélioration continue, l'analyse pour devenir meilleur, à petits pas.

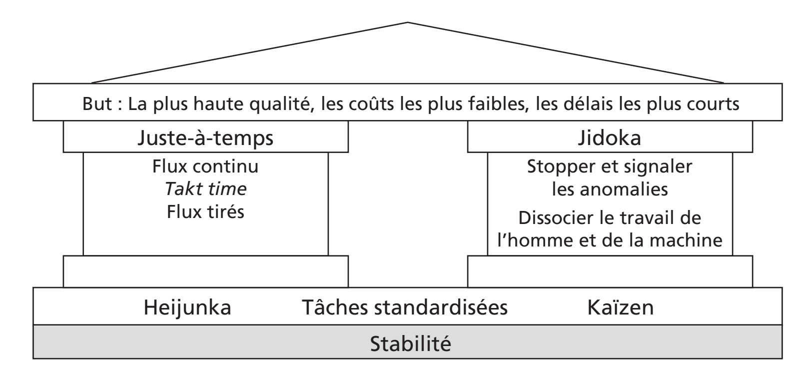


Figure 11.1 – Modèle historique de Toyota

Ce modèle est largement copié et imité partiellement ou plus complètement depuis une trentaine d’années où l’on a parlé de management par la qualité totale, de juste-à-temps puis maintenant de *Lean Manufacturing*. Le terme « *Lean Production* » a été utilisé pour la première fois par John KRAFCIK en 1988 pour décrire le TPS. La signification de *Lean Production* doit être comprise au sens de production allégée, agile, ayant éliminé les « graisses » qui nuisent à sa performance. Cette conceptualisation du système de production de Toyota est au départ un travail de trois chercheurs du MIT : Daniel ROOS, Daniel JONES et James WOMACK qui conduisaient le projet international « *International Motor Vehicle Program* » (IMPV) visant la construction d’un benchmark global des usines dans le monde. Leur ouvrage *Le système qui va changer le monde*, paru en 1990, peut être considéré comme le point de départ de l’émergence du concept *Lean*.

Depuis, le *Lean* est devenu le terme générique pour décrire l’ensemble des concepts avancés de management de l’activité industrielle. Les concepts du *Lean* n’ont cessé de progresser depuis. Le système *Lean* qui, au départ, était décrit comme un système essentiellement technique, s’est largement enrichi de concepts sociaux, avec la prise en compte de l’importance de l’homme comme élément coopérant avec un système technique. Le *Lean* est devenu aujourd’hui un système à la fois technique et social, illustré par la Figure 11.2 (pour la partie production), dans lequel le management et les hommes sont davantage représentés.

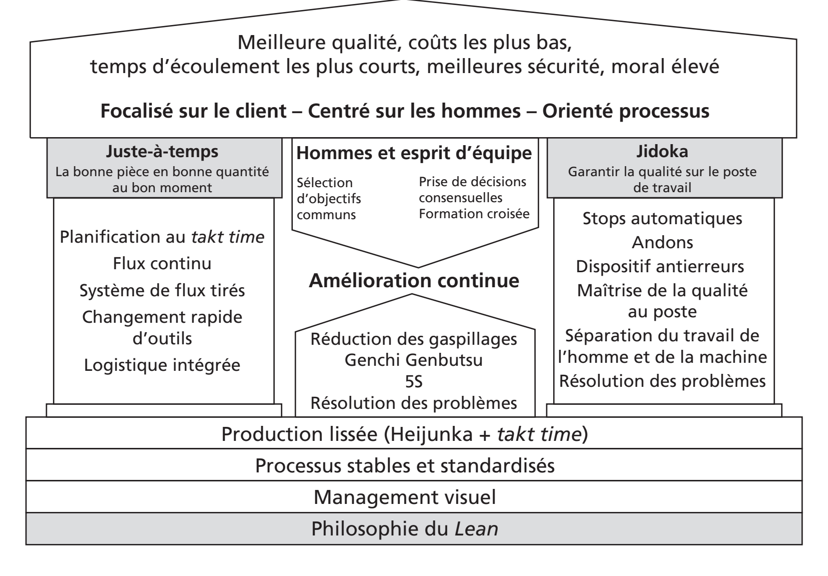


Figure 11.2 – Modèle actuel du *Lean*

À l'avenir, c'est très probablement sur le modèle social du *Lean* que les avancées les plus significatives seront réalisées.

1.3. Principes de base du *Lean*

Le *Lean* a pour objectif d'atteindre l'excellence industrielle en économisant l'énergie dépensée. Le problème est un peu le même que pour un sportif qui cherche à obtenir la performance maximale en réduisant le plus possible l'énergie consommée. Pour illustrer cette comparaison, prenons un débutant en ski de fond sur un « pas de skating ». Maîtrisant mal son équilibre, il va dépenser une énergie considérable qui ne se traduira pas en vitesse d'avancement et sera épuisé après quelques kilomètres. Au fur et à mesure, en progressant dans la justesse de ses gestes (le standard), dans son équilibre (formation, entraînement), dans la lecture de la piste (management visuel), il va pouvoir concentrer son énergie sur la seule performance utile : sa vitesse d'avancement. Au total, pour la même dépense énergétique, on peut facilement multiplier sa vitesse par un facteur 3, simplement en éliminant les gaspillages énergétiques. C'est le même problème pour les entreprises industrielles : comment améliorer notre performance sans gaspiller notre énergie ?

Pour atteindre ce niveau dans une entreprise, on doit s'appuyer sur un certain nombre de points clés que l'on retrouve dans la Figure 11.2 – Modèle actuel du *Lean* :

1. **Les fondations**
   – Le management visuel.
   – La standardisation.
   – La stabilité des flux de production.
2. **Les deux piliers**
   – Une production en juste-à-temps.
   – Une production qui garantit la qualité sur chaque machine.
3. **Une dynamique de progrès**
   – La réduction des gaspillages et la résolution des problèmes.
   – Un management qui développe les hommes et l'esprit d'équipe.

Le succès du *Lean* se trouve dans la culture autant que dans les outils. Contrairement à ce que l'on trouve dans de nombreuses entreprises, le *Lean* nécessite de fonder les décisions sur une philosophie à long terme, même au détriment des objectifs financiers à court terme !

La façon de considérer les collaborateurs nécessite également d'être reconsidérée. Un homme, c'est d'abord un cerveau avant d'être 2 bras ! Ceci, quel que soit le poste occupé par le collaborateur. Lorsque l'on regarde comment fonctionnent certaines de nos entreprises, on peut considérer que cela demandera encore de gros efforts.

Enfin, dans la philosophie du *Lean*, on doit considérer que c'est au plus près du problème que l'on trouve les solutions. L'expert mondial des 10 m^2 où se trouve le problème, c'est le collaborateur qui y travaille ! L'endroit où l'on a le plus de chance de trouver la solution c'est dans les 10 m^2 !

2. Les fondations

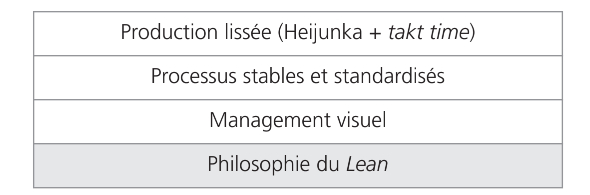


Figure 11.3 – Les fondations du *Lean*

2.1. Le management visuel

Une entreprise *Lean* doit pouvoir être « pilotée avec les yeux ». Je vois – je sais, je vois – je comprends sont les bases du management visuel. La performance doit être visible pour être atteinte. Les problèmes doivent être visibles si l'on veut pouvoir les résoudre rapidement. Les flux doivent être visibles si l'on veut les comprendre facilement pour diminuer les délais. Les bonnes pratiques doivent être visibles si l'on veut les respecter…

Rendre les choses visibles c'est aussi souvent les rendre plus simples, plus compréhensibles et donc les respecter plus facilement. On respecte ainsi sans effort le standard, ce qui entraîne une réduction importante des perturbations.

2.1.1. Je vois – je sais, je vois – je comprends

Le management visuel commence par des choses très simples à tous les niveaux de l'entreprise. Illustrons ce principe par quelques exemples mis en place dans l'atelier d'injection plastique de l'entreprise **iTechMedia** (voir le chapitre 1 pour la description de cette entreprise).

Le rangement des outillages : dans cet atelier, les opérateurs utilisent des outillages communs, et souvent, ces outillages étaient égarés, ce qui perturbait

fréquemment la production. Le management visuel a consisté à identifier clairement un emplacement pour chaque outillage.

Pour retrouver rapidement un outillage, on a confié à chaque opérateur des jetons qui doivent être placés à la place de l'outillage emprunté. Ainsi, de façon très simple et très visuelle, voit-on rapidement les outillages manquants et qui les a empruntés. Cela fait partie des standards de l'entreprise qu'il conviendra de respecter.

L'état des machines, l'état de la ligne, les andons : une autre perturbation a été identifiée ; il était difficile d'identifier d'un rapide coup d'œil la situation actuelle de l'atelier d'injection en termes de production. Pour améliorer cela, chaque presse à injecter a été équipée d'un empilage de lampes à cinq couleurs, donc chaque couleur a une signification bien précise : vert (production standard), rouge (problème de production, besoin d'aide), orange (attente de matière), jaune (maintenance), bleu (arrêt programmé). Ainsi, est-il facile de savoir si un opérateur nécessite une assistance et si l'ensemble de l'atelier est en situation standard (lampes vertes ou bleues).

L'état des stocks immédiatement visible : toujours dans ce même atelier, la matière première était stockée dans un palettier sur plusieurs étages sans adresse de stockage affectée à un produit particulier. L'identification se faisait à partir d'une fiche imprimée impossible à visualiser de loin. Ce système d'identification a été remplacé par une fiche avec un code géométrique clair (carré, triangle, losange…) identifiant chaque type de matière associé à une carte de couleur identifiant les matières sur lesquelles il ne restait qu'une seule palette en stock. Ainsi, de manière très simple, le gestionnaire visualise-t-il l'état de son stock. Et le cariste ne perd plus son temps à chercher les produits à déplacer.

Le planning de maintenance préventive plus visible : sur chaque presse à injecter un planning de maintenance préventive existait, mais sous forme d'une instruction de poste, peu visible. Cette instruction a été complétée par un planning sur trois mois pour chaque moyen, précisant à quelle fréquence chacune des actions de maintenance doit être réalisée. Ce planning prend la forme d'un tableau carton de format A4 avec en abscisse les dates, en ordonnée les actions à réaliser. Lorsqu'une action de maintenance doit être réalisée la case est blanche, grisée dans les autres cas. Lorsque le collaborateur a réalisé la maintenance il note une croix dans la case correspondante. Si l'action n'a pu être réalisée correctement (manque de produit par exemple), il ne met qu'un trait.

On pourrait facilement multiplier les exemples de ce type pour définir ce souci de management visuel. Le principe est simple, il faut imaginer des standards simples que l'on appréhende du premier coup d'œil.

2.1.2. Rendre visible la performance

Une entreprise, pour être viable, doit garantir sa performance. Cette performance se traduit généralement par un standard de productivité et de qualité. Un écart par rapport à la performance normale est un signal d'une perturbation, qu'il est nécessaire de résoudre pour éviter qu'il ne se reproduise.

Le problème : avec quelle fréquence surveiller cette performance ? L'usage habituel consiste à faire un point chaque fin de mois, ce qui introduit le syndrome « fin de mois » que de nombreuses entreprises connaissent. Il faut se dépêcher de livrer au client aval les produits, pour atteindre les objectifs. Tout devient urgent, on fait avancer les produits – parfois au détriment des standards qualité – pour livrer à tout prix. Et, le premier du mois suivant, la situation retrouve son état normal.

Pour éviter ce syndrome, on doit rendre visible la performance avec un niveau de détail beaucoup plus fin que le mois. On doit descendre à la journée, à l'heure, parfois même en deçà en fonction des produits fabriqués. Tout écart à la performance sur l'heure doit être traité au plus tôt. Pour suivre la performance, on utilise en général un graphique qui indique le standard de performance et la performance réelle. La figure 11.4 et la figure 11.5 montrent deux exemples de management visuel de la performance. La figure 11.4 montre un suivi de productivité. Le trait pointillé montre la performance standard attendue sur la journée. Le cône grisé montre les écarts de cadence qui restent dans le standard. La courbe en trait fort montre la performance réelle. On visualise nettement sur cette courbe la difficulté à tenir le standard de productivité ; la courbe sort du cône standard. Ce poste a sans doute besoin d'assistance.

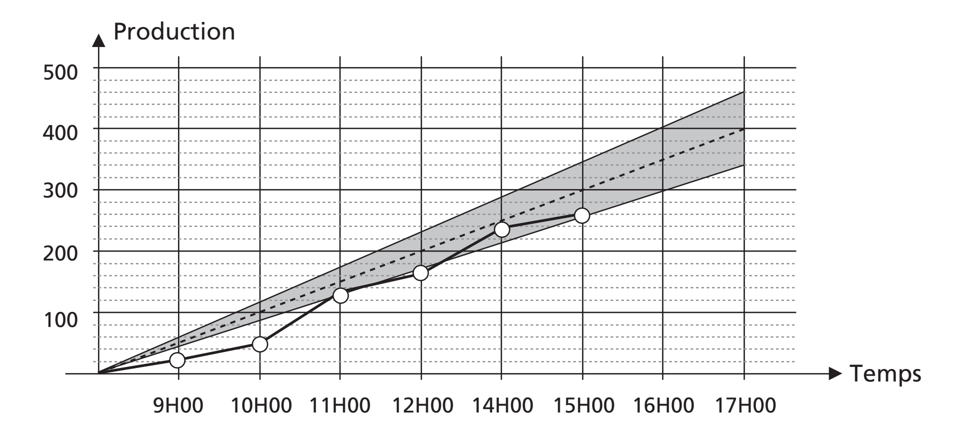


Figure 11.4 – Rendre visible la productivité

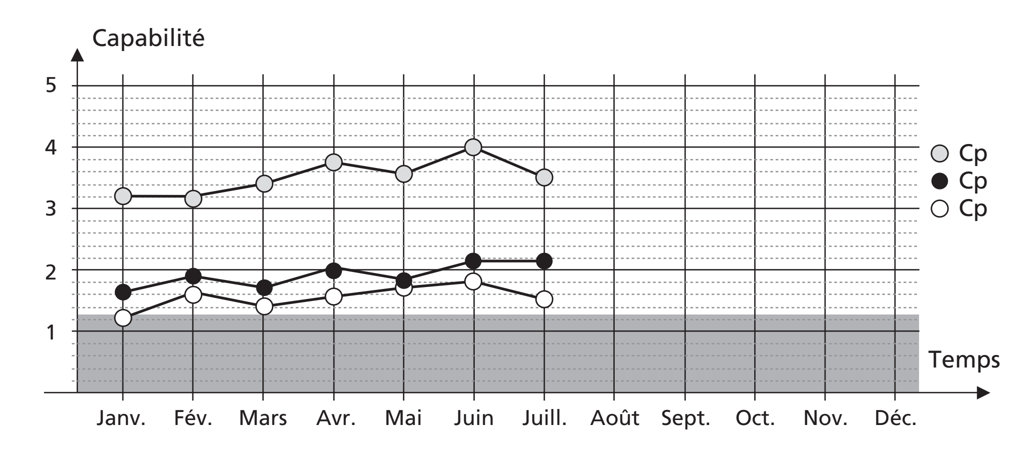


Figure 11.5 – Rendre visible la qualité

La Figure 11.5 montre un suivi de trois indicateurs classiques de la qualité (Cp, Pp et Ppk) qui doivent être supérieurs à 1,33 pour garantir la qualité au client. Dans cet exemple, le suivi est réalisé avec une fréquence de un point par mois. Là encore, on visualise rapidement que l'on est en présence d'une production dont la qualité est stable et satisfaisante sur les sept derniers mois.

2.2. La standardisation

Parmi les basiques du *Lean* figurent indiscutablement les standards. L'objectif d'un standard est simple : si l'on a montré qu'une manière de faire était satisfaisante, alors tâchons de reproduire cette façon de faire.

Si on regarde en détail les problèmes que rencontre une entreprise, 80% de ces problèmes sont des problèmes que l'entreprise a déjà rencontrés… et qu'elle a déjà résolus. Si l'on sait comment éviter qu'un problème ne survienne, un basique consiste à reproduire le processus qui évite le problème. C'est le principe de la standardisation.

> Nous définirons le standard par : « Une façon de faire qui a prouvé son efficacité et qui favorise le travail en commun. »

Le standard est la mémoire de la société. La performance d'une entreprise est souvent le résultat de son histoire. Petit à petit, l'entreprise a mis au point des processus et les a fait progresser. Cependant, les hommes évoluent dans ce système et il est nécessaire, malgré tout, de garder la mémoire de cette façon d'atteindre la performance. C'est cela le standard.

Un standard peut se présenter sous de nombreuses formes et à différents niveaux de l'entreprise :

- une façon de ranger des outillages dans un casier ;
- une fiche d'instruction ou un mode opératoire qui décrit la façon de réaliser une tâche particulière ;
- un code de couleur pour identifier des flux de pièces ;
- une procédure à suivre pour poser ses congés d'été ;
- la façon de traiter les produits non conformes qui doit être identique sur tous les postes de travail : la couleur rouge est réservée aux contenants destinés à recevoir des produits non conformes ;
- des règles de conception dans un bureau d'études (par exemple, un nombre de pas de vis minimal en prise) ;
- un délai maximal pour réaliser une tâche ;
- une photographie qui montre l'état souhaité d'un poste…

Un standard n'est pas une procédure, mais une procédure est un cas particulier de standard. Un des dangers du standard consiste à vouloir tout décrire dans des procédures. Cela conduit à une documentation gigantesque impossible à maintenir. On privilégiera donc les standards qui se comprennent simplement, visuellement sans avoir besoin d'écrire quelque chose.

Le standard est la cale dans la roue de Deming. Il permet à l'entreprise de maintenir les progrès issus de l'amélioration continue.

La standardisation est également indissociable du management visuel. La figure 11.6 illustre les liens entre ces trois éléments du *Lean* : le standard, le management visuel, l'amélioration continue.

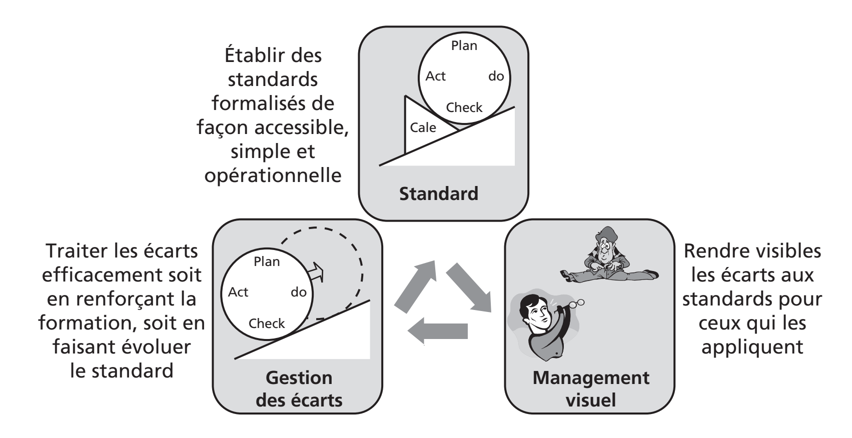


Figure 11.6 – Le triangle d'or

Ainsi, le standard a-t-il vocation à évoluer. Il ne doit pas être un frein au progrès permanent, au contraire. Chaque fois qu'une perturbation apparaît, on doit se poser la question suivante : cette perturbation est-elle un écart par rapport au standard, ou bien traduit-elle un standard non adapté ?

Un standard n'est pas figé, il doit évoluer en permanence. L'entreprise en mouvement est une entreprise qui fait évoluer ses standards, tout en continuant à veiller à l'application de tous ses standards plus anciens qui traduisent le savoir-faire de l'entreprise.

Une des questions que l'on doit se poser devant un poste de travail est la suivante : quelles sont les choses importantes à mémoriser de ce poste de travail pour garantir la qualité de la production ? Cette capitalisation doit concerner le séquencement des opérations nécessaires, mais aussi les règles de réaction face aux problèmes. En général, cette capitalisation est réalisée au travers de documents disponibles sur le poste de travail. Ces documents ne sont pas exhaustifs, ils visent à assurer la continuité du savoir-faire dans trois situations principales :

- l'arrivée d'un nouveau collaborateur ;
- la reprise d'une tâche après un temps d'arrêt important ;
- l'audit pour garantir que le processus ne dérive pas.

2.3. La stabilité des flux de production

Le troisième élément des fondations du *Lean* est la stabilité des flux de production. Il est évidemment plus facile d'être agile et performant dans un monde organisé que dans le chaos. La nature de la demande brute est souvent erratique, et introduire directement cette demande pour piloter une production revient à introduire le chaos dans le système. Il est donc nécessaire de faire un lissage de cette demande (figure 11.7).

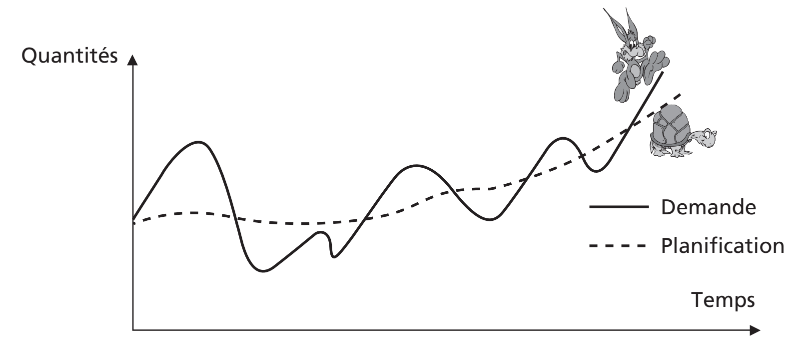


Figure 11.7 – Stabiliser les flux de production

2.3.1. Lissage de la demande

C'est sur ce point que l'ensemble des éléments énoncés dans les chapitres précédents sur la prévision de la demande, la réalisation d'un plan industriel et commercial (PIC), d'un programme directeur de production (PDP) et d'un calcul des besoins (CB) prend tout son sens. Plus le lissage a lieu à un niveau élevé dans la nomenclature des produits, plus le lissage est efficace. Si l'on introduit une demande erratique d'un produit fini, alors cette demande se décomposera en de nombreuses sollicitations de production sur l'ensemble des opérations nécessaires à la réalisation des pièces composant le produit. On amplifie le chaos !

On peut remarquer que ce n'est pas parce que la demande directe est chaotique que la demande des clients finaux est aussi chaotique. On peut citer, par exemple, la fabrication de couches culottes pour bébés qui devrait être relativement stable et qui pourtant, après être passée par les différents filtres de la *supply chain*, finit par devenir chaotique !

2.3.2. Équilibrage des opérations

Le lissage de la demande n'est pas le seul élément nécessaire à la stabilité de la production. Il est nécessaire d'avoir également un équilibrage des temps de cycles sur l'ensemble des opérations qui s'enchaînent pour réaliser un produit. L'idéal est que, dans le temps de travail, on réalise la production demandée. Cela permet de définir une notion essentielle dans le *Lean* : le *takt time*. Il représente une unité de temps calculée à partir de la demande client et du temps d'ouverture des postes.

$$\textit{Takt time} = \frac{\textit{Temps de production disponible}}{\textit{Demande des clients}}$$

Exemple de calcul du *takt time* :

Une ligne de production est dimensionnée pour répondre à une demande client de 100 produits par jour. Le temps de production disponible par jour est de 7 heures 15 soit 26100 secondes. Le *takt time* se calcule de la façon suivante :

$$\textit{Takt time} = \frac{26100}{100} = \textit{26 secondes}$$

Ce temps devra être l'unité pour établir le temps de cycle de chacun des postes.

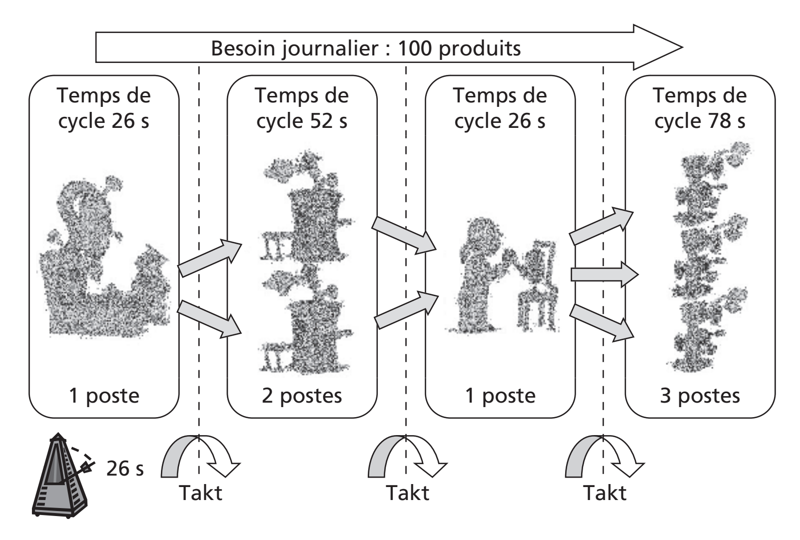


Figure 11.8 – Le *takt time*

Dans l'exemple de la figure 11.8, quatre opérations s'enchaînent pour réaliser le produit. Le poste 2 est doublé, le poste 4 est triplé. Le nombre de postes disponibles se calcule facilement par la relation :

$$\textit{Nombre de postes} = \frac{\textit{Temps de cycle}}{\textit{Takt time}}$$

Si on reprend le *takt time* de 26 secondes qui représente l'unité de temps, alors :

- le temps de cycle des postes 1 et 3 doit être de 26 secondes ;
- le temps de cycle du poste 2 doit être de 2 × 26 = 52 secondes ;
- le temps de cycle du poste 4 doit être de 3 × 26 = 78 secondes.

Ainsi, de manière synchronisée, toutes les 26 secondes, un produit doit passer d'un poste à un autre, la demande client est satisfaite, sans à-coups, sans en-cours, de manière stabilisée.

2.3.3. Rendre visible le planning

Dans la logique *Lean*, c'est fréquemment un tableau Heijunka qui est utilisé pour définir le planning associé aux calculs de *takt time*.

La logique Heijunka est une technique de nivelage de la production donnée par le volume et le mix produit. Le tableau peut être construit au jour, à la

semaine ou à deux semaines en fonction de la répétitivité de la demande (parfois réelle mais le plus souvent lissée par le système de planification MRP) et du niveau de flexibilité du système de production. On cherche à « produire un petit peu de tout, tous les jours » dans la mesure du possible…

Les objectifs de cette forme de planning sont de :

- mettre de la stabilité dans l'activité de production ;
- réduire la nervosité (changements incessants) dans la fabrication pour produire efficacement en respectant les délais ;
- proposer une méthodologie de pilotage de la production avec un système de priorités.

La construction du tableau se fait, la plupart du temps, à partir des besoins lissés sur les trois ou quatre prochains mois. On évalue le besoin jour et on construit le tableau Heijunka, en figeant certaines journées en fonction de la régularité de la demande des produits standards et en laissant certaines plages horaires, certaines journées disponibles pour des « produits divers » – produits à faible répétitivité dont on ne connaît pas précisément le besoin à l'avance.

Exemple :

Supposons une entreprise dont la demande sur les quatre prochains mois est la suivante :

Produits	Demande/ 4 prochains mois	Demande/ jour	Nombre de lots à fabriquer/jour	*Takt time*/ lot/jour
P1	40000	500	5 lots/jour	5 heures/jour
P2	24000	300	3 lots/jour	3 heures/jour
P3	8000	100	1 lot/jour	1 heure/jour
P4	3200	40	1 lot/2 jours sur 5	1 heure/2,5 jours
P5	3200	40	1 lot/2 jours sur 5	1 heure/2,5 jours
P6	1600	20	1 lot/5 jours	1 heure/5 jours
Produits divers	32000	400	4 lots/jour	4 heures/jour

Pour établir le tableau précédent, on a utilisé les informations suivantes :

- on dispose de 14 heures par jour car on travaille en 2 équipes, 5 jours par semaine, 4 semaines par mois ;
- les tailles de lot sont des multiples de 100 (décision prise pour rentabiliser les réglages) ;
- on fabrique à un rythme de 100 pièces/heure.

On peut alors construire le tableau Heijunka :

Horaires	LUNDI	MARDI	MERCREDI	JEUDI	VENDREDI	SAMEDI	DIMANCHE
5-6 h							
6-7 h							
7-8 h	P1	P1	P1	P1	P1		
8-9 h							
9-10 h							
10-11 h							
11-12 h	P2	P2	P2	P2	P2		
12-13 h							
13-14 h	P3	P3	P3	P3	P3		
14-15 h	P4	P5	P6	P4	P5		
15-16 h							
16-17 h	Autres produits	Autres produits	Autres produits	Autres produits	Autres produits		
17-18 h							
18-19 h							

Ce tableau doit être affiché dans le lieu de production concerné, de façon à ce que les opérateurs aient en permanence la production à effectuer sous les yeux. On n'aura pas toujours une situation aussi idéale que celle de cet exemple (nécessité d'effectuer des arrondis de calculs) et le renouvellement du tableau ne sera pas forcément à la semaine de 5 jours mais cela ne pose pas de problème, on peut avoir un renouvellement à 3 jours, 8 jours, 10 jours…

Comment ce tableau est-il utilisé ?

On cherche à produire chaque jour ce que le tableau préconise pendant le temps imparti. Par exemple : le lundi on cherchera à produire 500 produits P1 de 5 heures à 10 heures, 300 produits P2 de 10 heures à 13 heures, 100 produits P3 de 13 heures à 14 heures, 100 produits P4 de 14 heures à 15 heures et 500 produits divers (la décision des références à produire pour les articles divers sera prise en fonction des besoins dans la semaine qui précède) de 15 heures à 19 heures. Si, à la fin de la journée, on n'a pas terminé le programme (apparitions d'aléas…), on met de côté l'information correspondante dans la colonne du samedi.

<table>
<tr><th>Horaires</th><th>LUNDI</th><th>MARDI</th><th>MERCREDI</th><th>JEUDI</th><th>VENDREDI</th><th>SAMEDI</th><th>DIMANCHE</th></tr>
<tr><td>5-6 h</td><td rowspan="5">P1</td><td rowspan="5">P1</td><td rowspan="5">P1</td><td rowspan="5">P1</td><td rowspan="5">P1</td><td>P4</td><td></td></tr>
<tr><td>6-7 h</td><td rowspan="4">Autres produits</td><td></td></tr>
<tr><td>7-8 h</td><td></td></tr>
<tr><td>8-9 h</td><td></td></tr>
<tr><td>9-10 h</td><td></td></tr>
<tr><td>10-11 h</td><td rowspan="3">P2</td><td rowspan="3">P2</td><td rowspan="3">P2</td><td rowspan="3">P2</td><td rowspan="3">P2</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>11-12 h</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>12-13 h</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>13-14 h</td><td>P3</td><td>P3</td><td>P3</td><td>P3</td><td>P3</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>14-15 h</td><td></td><td>P5</td><td>P6</td><td>P4</td><td>P5</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>15-16 h</td><td></td><td rowspan="4">Autres produits</td><td rowspan="4">Autres produits</td><td rowspan="4">Autres produits</td><td rowspan="4">Autres produits</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>16-17 h</td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>17-18 h</td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>18-19 h</td><td></td><td></td><td></td></tr>
</table>

La production manquante ne sera pas réalisée le mardi (la priorité est avant tout d’effectuer la production prévue le mardi pour des raisons de stabilité), sauf si l’on a du temps disponible en fin de journée. On va donc reporter toutes les productions manquantes de la semaine au samedi et on prendra généralement une décision le mercredi ou le jeudi soir pour compenser les retards, si retards il y a, par des heures supplémentaires en fin de semaine ou le samedi. **L’objectif Heijunka est que la production de la semaine soit terminée avant le début de la semaine suivante… Le client avant tout…**

Pour que ce système fonctionne bien, il est nécessaire de bien effectuer le lissage de charges au niveau du programme directeur de production, de revoir le système tous les deux, trois, ou quatre mois (en fonction de l’évolution plus ou moins rapide des besoins) et d’assurer la synchronisation des besoins avec les fournisseurs internes ou externes.

En conséquence, ce système Heijunka va permettre de produire « un petit peu de tout, tous les jours », ce qui amène à l’entreprise de la flexibilité pour répondre aux demandes variées des clients…

3. Les deux piliers

Le management visuel, la standardisation et la stabilité des flux de production forment les fondations du *Lean Manufacturing*. Pour continuer à construire cette maison du *Lean*, on doit mettre en place les deux piliers : la production en juste-à-temps et la qualité sur le poste. Ces deux piliers sont d'égale importance. Détaillons ces deux aspects.

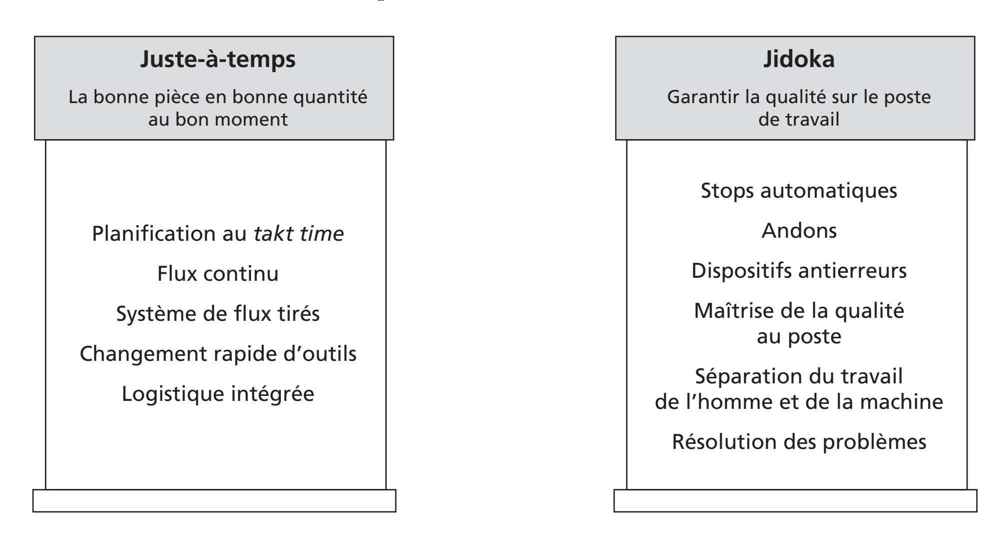


Figure 11.9 – Les deux piliers du *Lean*

3.1. Une production en juste-à-temps

3.1.1. Une production en flux tendus

Jean de La Fontaine nous disait : « Il ne faut pas vendre la peau de l'ours avant de l'avoir tué ». Le *Lean Management* nous dit au contraire : « Ne tuez pas l'ours avant d'avoir vendu sa peau, cela risque de faire du stock, la peau peut s'abîmer et vous n'êtes pas sûr de la vendre ! » Cette petite boutade nous permet de bien saisir les différences fondamentales qui existent entre la gestion traditionnelle et le *Lean Management*. Dans le premier cas, on fabrique puis on vend ; dans le second cas, on vend puis on fabrique. En revanche, il faut préparer une organisation de la production capable de répondre dans un délai acceptable par le client.

La tension des flux consiste à réduire considérablement les délais de production afin de les rendre le plus synchrone possible avec les évolutions du marché. La production en flux tendus permet à l'entreprise de réduire de façon considérable ses cycles de production afin de ne produire que ce que le

marché demande. Cette tension des flux s'accompagne d'une accélération de la vitesse de circulation des produits sur le site de production. Pour faire la comparaison avec un cours d'eau, on peut associer la production traditionnelle à la Seine avec beaucoup de méandres, un débit finalement faible compte tenu de la capacité du fleuve. Tendre les flux va consister à donner de la pente à ce fleuve et à supprimer les méandres, afin d'accélérer les temps de passage. Le débit sera alors considérablement augmenté, sans avoir à changer la capacité du fleuve.

Dans la plupart des entreprises, les produits passent plus de 95% du temps à attendre. Ce temps perdu est un gaspillage considérable. Nous reviendrons par la suite sur cette notion de gaspillage très importante dans le *Lean*. Ce gaspillage n'est pas qu'un gaspillage de temps, il induit aussi une désynchronisation avec le marché. Pourtant, ces délais sont souvent le résultat de quelques postes de travail qui sont de véritables « pièges à temps ». La première action consiste donc à cartographier les flux physiques et les flux d'informations pour identifier les sources de non-performance, et éliminer les causes afin de réduire tous ces temps d'attente. Ce sera le rôle de la VSM (*Value Stream Mapping*) et de la VSD (*Value Stream Design*).

La première cartographie (VSM) aura pour objectif de cartographier l'état existant, la seconde (VSD) aura pour objectif de représenter la configuration future des flux de production et des flux d'informations. Nous reviendrons au chapitre suivant sur ces outils.

3.1.2. Les actions du juste-à-temps

Pour réaliser cette tension des flux, il faut identifier les causes principales qui ralentissent le flux, qui créent des stocks intermédiaires et qui handicapent une circulation rapide de la production. On peut citer les principales causes :

- de mauvaises implantations des moyens de production, les trajets sont trop longs (voir le chapitre 14 : L'implantation d'atelier) ;
- des durées de changement d'outil trop longues, on augmente la taille des lots pour diminuer les temps morts ;
- la planification par ordre de fabrication et standardisation des temps de production par opération. Dans cette situation, avec une standardisation par opération à la semaine, un produit qui nécessite dix opérations aura un temps de production de dix semaines !
- l'existence de problèmes de qualité récurrents, on doit reproduire des lots rebuts, on anticipe une mauvaise qualité en augmentant la taille des lots ;

- l'existence de pannes, une mauvaise fiabilité des moyens. Les délais sont allongés ou on anticipe ces pannes en créant des en-cours de production ;
- des fournisseurs qui ne garantissent pas la qualité et le délai. On rajoute des contrôles qui allongent les délais, et on approvisionne en avance pour faire face au problème de délais ;
- une mauvaise polyvalence du personnel. Le personnel fait ce qu'il sait faire, pas ce que le client a demandé entraînant du stock inutile.

On pourrait certainement allonger cette liste, nous reviendrons sur ces éléments dans les paragraphes suivants lorsque nous aborderons la notion de gaspillage.

Un thermomètre pour mesurer l'importance du mal est constitué par le couple stocks/délais qui est une conséquence directe de ces causes fondamentales. Les causes racines sont les problèmes évoqués ci-dessus. En agissant sur les causes racines, on pourra obtenir les résultats suivants :

1. Apporter de la souplesse au système de production.
2. Améliorer la productivité et les coûts des produits.
3. Gagner de la place.
4. Améliorer l'efficacité.
5. Diminuer les besoins d'investissement et les charges liées.
6. Accélérer les flux.

On a l'habitude de représenter les causes racines comme des récifs au fond d'un chenal qui empêchent toute navigation. La seule solution pour naviguer quand même (pour produire quand même) est d'augmenter le niveau d'eau (augmenter les stocks). Dans l'esprit du *Lean*, il faut réduire les récifs au rang de gravillons pour naviguer dans peu d'eau.

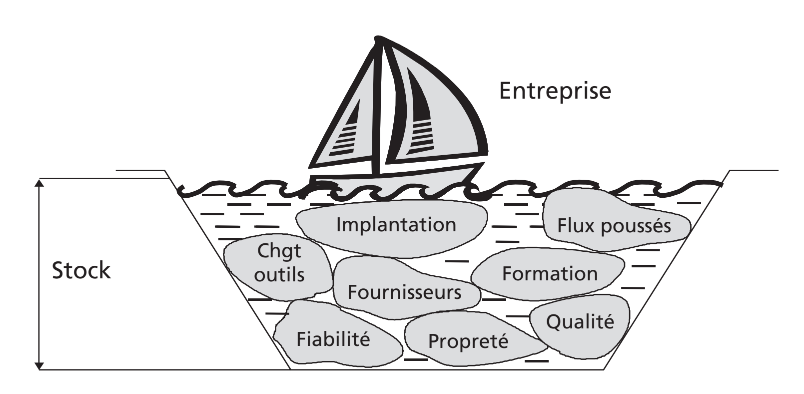


Figure 11.10 – Les causes principales de la non-compétitivité

Les principales actions à conduire pour aller vers le juste-à-temps sont évidemment en rapport avec les causes racines identifiées ci-dessus. Ces actions nécessitent la mise en œuvre d'outils que nous avons déjà abordés dans la première partie de ce livre, et d'autres outils que nous décrirons dans les chapitres suivants ou qui sortent du domaine de ce livre.

Causes racines	Actions	Outils associés (exemple)
Mauvaise implantation des moyens	Réimplantation « en ligne » ou en « cellule »	VSM & VSD Outils d'analyse et de conception d'implantation
Changement de séries trop long	Diminuer les temps de changement de série	SMED
Formation inadaptée, manque de polyvalence	Mise en place de formations croisées	Tableau de compétences
Fournisseurs non fiables en qualité et en délais	Amélioration des relations avec les fournisseurs pour les faire progresser	*Lean* sur l'ensemble de la *supply chain*
Fiabilité des machines insatisfaisante	Refonder la politique de maintenance des moyens	TPM (*Total Productive Maintenance)*
Poste de travail mal rangé, outillage non disponible immédiatement, perte de temps	Rangement et nettoyage des postes de travail Organisation efficace du poste	5S
Problème de qualité sur un moyen	Amélioration de la qualité	Maîtrise statistique des processus Poka Yoke (antierreur) Jidoka
Flux poussés générateurs de stocks	Tirer les besoins par la demande	Kanban

Nous avons commenté dans cet ouvrage certaines actions et certains outils de la production en flux tendus. C'est le cas de l'implantation des ateliers de production (chapitre 14), du Kanban (chapitre 13) ou de la TPM et du SMED (chapitre 12). Nous invitons le lecteur à se reporter à ces chapitres pour étudier en détail ces aspects.

3.2. Une production qui garantit la qualité sur chaque machine

3.2.1. Arrêter une production plutôt que produire des non-conformités

Une entreprise *Lean* fournit des produits de qualité et cette qualité n'est pas une qualité triée, c'est une qualité maîtrisée. La qualité doit être produite directement sur le poste de production. Dès l'apparition d'une défaillance – voire

même dès que l'on détecte une situation qui peut générer une défaillance –, le poste doit s'arrêter et résoudre le problème. C'est le principe du Jidoka.

À cet effet, on doit installer des systèmes qui garantissent que le poste ne délivre que des produits de qualité. Cela n'est pas facile à garantir avec un contrôle humain. L'humain a de très grandes qualités, mais ne sait pas garantir tout au long d'une production une attention et un niveau de jugement constants. C'est la raison pour laquelle on fait appel à des moyens automatiques et à des dispositifs antierreurs (Poka Yoke).

Ainsi, placera-t-on, par exemple, un capteur de température, de vibration… qui pourra alerter la maintenance en activant un signal (andon) en cas de température élevée, de vibration anormale. L'andon est donc un élément essentiel dans ce second pilier du *Lean*. Nous en avons déjà parlé dans la partie du management visuel. L'andon est un système d'information qui permet de connaître à tout moment si une machine ou un poste a un problème et nécessite une intervention. Cette intervention pouvant aller jusqu'à l'arrêt de la ligne si aucune contre-mesure n'a pu être prise dans le temps nécessaire pour éviter la création d'une non-conformité.

L'application de la maîtrise statistique des processus prend également toute sa part dans cette partie du *Lean*. On surveille les variations aléatoires du processus, et on crée un signal dès que la caractéristique suivie a un écart au-delà des variations aléatoires normales, même si la caractéristique est encore conforme aux spécifications. On intervient avant d'avoir généré un produit non conforme. Dans les processus modernes cette boucle d'intervention peut être réalisée automatiquement.

Lorsqu'une approche par mesure n'est pas possible, on place un système antierreur (Poka Yoke). Cela consiste à éliminer la cause de l'erreur en prévoyant des dispositifs conçus pour supprimer les causes de défauts. Un exemple bien connu de Poka Yoke, est la carte SIM des téléphones portables qui, avec un simple coin tronqué, empêche de mettre la puce à l'envers.



Figure 11.11 – Exemple de Poka Yoke, la carte SIM du téléphone

3.2.2. Séparation homme machine

Le second point du Jidoka est la désynchronisation entre le travail de l'homme et celui de la machine. Si l'homme doit garantir la qualité de la machine, alors nécessairement il doit rester à proximité de celle-ci, et son cycle doit être synchronisé avec le cycle de la machine. Si l'on a pu installer des systèmes automatiques qui surveillent la qualité de la production sans nécessité de présence humaine, alors, les cycles de l'homme et de la machine peuvent être désynchronisés. L'homme peut ainsi se consacrer davantage à ce pour quoi il est supérieur à la machine : l'intelligence, la créativité, l'imagination, l'émotion…

Il doit mettre en œuvre ces qualités pour – en cas de problèmes – trouver rapidement les contre-mesures nécessaires pour garantir une production conforme. Dans cette partie du *Lean*, on doit garantir une production conforme en évitant de stopper une production. Il faut donc résoudre les problèmes rapidement, si possible dans le cycle de production, pour éviter l'arrêt de production. Il n'est donc pas question ici de mettre en œuvre des démarches d'analyse du problème complexes telles que Six Sigma, mais plutôt de prendre des actions de confinement qui permettent de garantir la régularité du flux de production.

Bien entendu, cela doit déclencher – lorsque cela est nécessaire – des actions plus lourdes d'analyse et de résolution des problèmes telles que les démarches « 8D » ou les « A3 Report » que nous aborderons plus loin.

4. Une dynamique de progrès

Au-delà des fondations et des piliers, il faut mettre l'entreprise en mouvement. Une entreprise doit sans cesse s'adapter, progresser, faire évoluer ses standards.

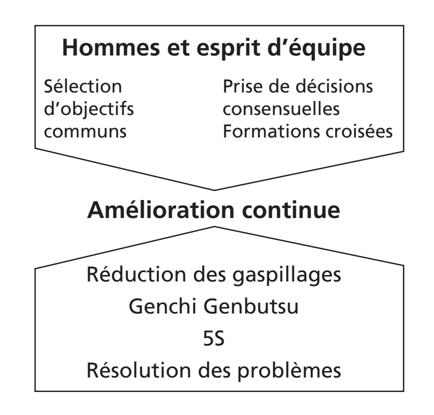


Figure 11.12 – Une dynamique de progrès

Cela doit s'organiser en utilisant les problèmes comme des sources de progrès et en instaurant un management qui sollicite les collaborateurs à faire progresser l'entreprise et à créer un esprit d'équipe.

4.1. La réduction des gaspillages et la résolution des problèmes

4.1.1. Le Kaïzen

L'entreprise en mouvement nécessite une dynamique de progrès au quotidien. C'est l'esprit Kaïzen (改善) qui en japonais s'écrit à partir de deux idéogrammes dont le premier signifie « changement », et le second « bien ». Les deux idéogrammes ensemble se traduisant par « amélioration ». Le but du Kaïzen est de faire progresser l'entreprise par de très nombreuses améliorations simples peu coûteuses, mises en place très rapidement et apportées au quotidien sur l'ensemble des processus de l'entreprise.

Le Kaïzen ne repose pas sur quelques personnes, mais sur l'ensemble des collaborateurs qui doivent contribuer à apporter des idées d'amélioration. C'est une démarche de modification en douceur des processus de l'entreprise qui demande une forte implication des collaborateurs. Pour être mis en œuvre, le Kaïzen demande la mise en place d'une culture d'entreprise tournée vers l'amélioration continue.

L'amélioration au quotidien c'est l'identification permanente des gaspillages de l'entreprise, la réduction de ces gaspillages et la résolution des problèmes par les collaborateurs directement concernés. C'est aussi l'utilisation intensive des standards pour conserver les acquis, et continuer à faire bien ce que l'on sait bien faire.

4.1.2. Genchi Genbutsu

Le principe du Genchi Genbutsu (現地現物) peut se traduire par « aller et voir » sur le terrain ce qui se passe réellement. C'est un des principes fondamentaux du *Lean* qui consiste à ne pas discuter d'un problème loin de l'endroit où se produit le problème mais, au contraire, à aller sur le terrain, avec les personnes qui produisent le service ou la production, en regardant les vraies pièces. Pour comprendre ce qui se passe en production, il faut que les ingénieurs et les techniciens aillent dans l'atelier. Ce principe a inspiré les fondamentaux du QRQC (*Quick Response Quality Control*) qui consiste à analyser les problèmes rapidement et directement sur le terrain avec les pièces concernées, les hommes concernés, autour des moyens concernés.

4.1.3. Les gaspillages Muda, Muri, Mura

Pour être performant, il faut se rapprocher le plus possible de l'optimum, ne dépenser que ce qui est indispensable pour apporter de la valeur ajoutée au produit. Illustrons ce principe par un exemple caricatural pris dans la vie de tous les jours.

« Un client pressé, se présente au bar d'un café et commande un café bien serré. Le restaurateur qui n'a plus de café disponible au comptoir va dans son arrière-boutique, cherche un paquet de café et renverse une boîte de sucre qui était mal rangée. Il revient au comptoir, fait le café, mais laisse trop couler l'eau. Le client mécontent demande un nouveau café plus serré. Le restaurateur énervé, manipule mal sa machine déjà mal en point et casse un élément du percolateur. Après une réparation de fortune, le restaurateur apporte le nouveau café mais oublie le sucre. Il est obligé d'aller chercher le sucre à l'autre bout du comptoir. Lorsqu'il revient, le client pressé est parti. »

Dans cette petite anecdote, on constate de nombreux **gaspillages** évidemment inutiles :

- boîte de sucre renversée faute d'un mauvais **rangement** ;
- nombreux **déplacements** inutiles ;
- problèmes de **qualité** suite à une mauvaise compréhension des attentes du client ;
- problèmes de **fiabilité** de la machine.

Le *Lean Management* a pour objectif la suppression de tous les gaspillages.

Chaque fois que l'on fait quelque chose d'inutile, de superflu, ou qui aurait pu être évité si l'on s'organisait différemment, il y a gaspillage. Le *Lean* distingue trois nuances de gaspillages : le *Muda* (le gâchis), le *Muri* (l'excès), le *Mura* (l'irrégularité).

- Les *Muda* correspondent à des gaspillages délibérés que l'on voit mais que l'on ne supprime pas, par commodité ou par habitude. Par exemple, un taux de 5% de rebut sur des pièces est accepté, il est même planifié dans les calculs de besoins (MRP), c'est un *Muda*.
- Les *Muri* correspondent à des gaspillages dus à des excès, par exemple un excès de consommation de produits suite à un standard inapproprié, des opérations qui ne sont pas vraiment utiles, des tailles de lot fixes et trop importantes… Ces gaspillages ne sont pas des gaspillages subis, mais dépendent plutôt de standards mal adaptés.

- Les *Mura* correspondent aux gaspillages consécutifs aux irrégularités. Par exemple, une irrégularité dans le respect des délais d'un fournisseur va conduire à se protéger en augmentant les stocks.

Sur un poste de production les 7 principales sources de gaspillage sont identifiées : on les appelle souvent les **7 *Muda***.

1. **Surproduction** : on continue à produire alors que le besoin immédiat est déjà produit.
2. **Attentes** : l'opérateur passe un pourcentage de temps important à attendre la fin des cycles de la machine. Les temps de cycle ne sont pas équilibrés, les processus ne sont pas en ligne.
3. **Déplacements inutiles** : par exemple, un opérateur doit aller chercher du matériel ou des outils qui ne sont pas disponibles sur le poste, un opérateur qui doit constamment faire des pas supplémentaires à cause d'une implantation qui n'est pas optimisée.
4. **Opérations inutiles** : une tendance de tous les opérateurs à atteindre des niveaux de spécification qui vont au-delà des attentes des clients. Cela est spécialement vrai pour des défauts visuels. Cela augmente les temps de production, les retouches, les rebuts, et donc les coûts. D'où l'intérêt de parfaitement définir le niveau attendu pour chaque spécification, et de se donner les moyens de mesurer correctement ces spécifications.
5. **Stocks excessifs** : outre les aspects coûts, les stocks excessifs conduisent à des gaspillages de temps pour retrouver la référence.
6. **Gestes inutiles** : par une mauvaise conception des postes de travail, on en diminue considérablement l'efficacité en imposant des déplacements, des gestes, des transports inutiles.
7. **Défauts** : le processus génère de la non-valeur ajoutée, il faut attendre pour avoir de nouvelles matières premières – les défauts peuvent ne pas être vus – et passer à l'opération suivante.

L'application du *Lean* nécessite que chaque collaborateur ait en mémoire ces gaspillages et cherche constamment à les identifier, pour être ensuite capable de les supprimer. La cartographie des flux de valeur (VSM) est un excellent outil pour identifier les *Muda*.

4.1.4. La résolution des problèmes

Un problème est souvent une source de progrès. Il révèle soit un standard qui n'est pas adapté, soit un écart du standard. Si c'est un écart du standard, il faut comprendre les raisons de cet écart et revenir au standard. Si le standard

n'est pas adapté, il faut faire une analyse pour identifier un nouveau standard permettant d'éviter à l'avenir le problème. Chaque non-conformité qui apparaît dans le processus est révélatrice d'une faiblesse de celui-ci. Lorsqu'une non-conformité est révélée deux principes doivent s'appliquer :

- **principe de l'iceberg** : l'information contenue dans la non-conformité est révélatrice d'un problème sans doute beaucoup plus grave. La non-conformité visible n'est que la partie visible d'un iceberg. En quoi mon système de production a-t-il failli ? Comment faire pour que ce problème n'arrive plus ? On ne doit pas se contenter de « yaqua fauquon », mais on doit s'assurer de remonter à la source du problème. Lorsqu'une non-conformité apparaît, Ohno (grand maître japonais de la qualité et de la gestion de production, ayant passé toute sa carrière chez Toyota Motors Company et cela à partir des années 1950) préconise de se poser cinq fois la question « Pourquoi ? » afin de bien remonter à la racine du problème. Un défaut doit être paradoxalement le bienvenu car c'est un moteur à l'amélioration continue ;
- **principe de la bougie magique** : une non-conformité est comme une bougie magique que l'on met sur les gâteaux d'anniversaire des enfants ; vous avez beau l'éteindre, elle se rallume toujours ! Pour réellement pouvoir l'éteindre, il faut aller plus loin que les actions traditionnelles, il ne suffit pas de souffler dessus. Ainsi, 80% des défauts traités par les services qualité sont-ils des problèmes récurrents. Il faut une analyse fine de chaque non-conformité. Est-ce du domaine de l'amélioration continue ? de l'amélioration par percée ? En quoi les modifications apportées au processus ou au produit me donnent-elles la garantie que j'ai éteint de manière définitive la bougie ?

Nous avons déjà parlé de résolution de problème dans le pilier « Qualité sur le poste » mais nous avons surtout abordé la partie « action de confinement » qui consiste à trouver rapidement une solution pragmatique et immédiate à un problème rencontré.

Si cette solution de confinement est satisfaisante, il n'y a pas lieu d'activer d'autres ressources ou de mettre en œuvre une démarche spécifique. Si cette solution de confinement n'est pas satisfaisante sur le long terme, il y a alors nécessité de mettre en place une démarche de résolution plus structurée.

On distingue trois niveaux de résolution de problème qui devraient être formalisés dans chaque entreprise (Voir figure 11.13).

Niveau 1 : l'action immédiate. Un problème engendre une solution évidente qui règle le problème.

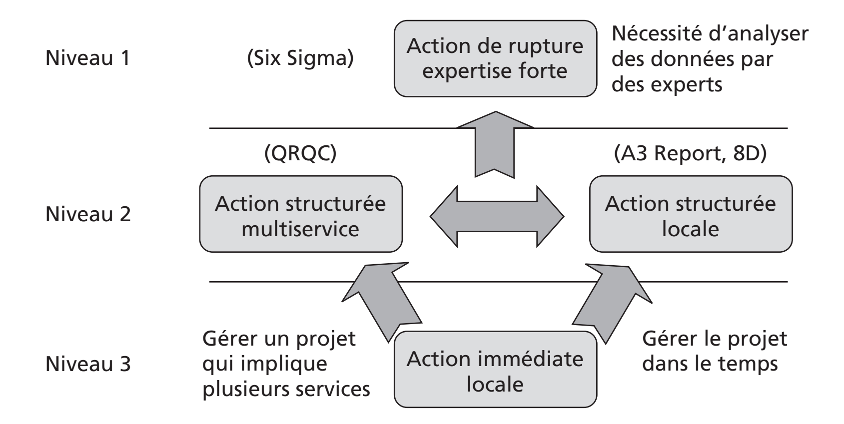


Figure 11.13 – Différents niveaux de résolution de problème

Niveau 2 : l'action structurée. Deux éléments rendent nécessaire le recours à une action structurée : soit la nécessité de gérer la résolution de problème dans le temps, soit la nécessité d'avoir un travail collaboratif entre plusieurs services, soit les deux. Pour gérer correctement un projet collaboratif sur le temps, il est alors nécessaire d'introduire un minimum de structure. Plusieurs approches ont été proposées pour remplir cette mission – citons le 8D ou le A3 Report pour une gestion de résolution de problème dans le temps, le QRQC (*Quick Response Quality Control*) pour l'action structurée multiservice.

Niveau 3 : quand le problème devient important et lorsque la recherche des causes racines du problème nécessite des analyses complexes, il faut alors avoir recours à des experts en statistique, analyse de données et résolution de problème. L'approche Six Sigma est alors la plus adaptée. Le niveau 3, pour être mis en œuvre, nécessite de disposer dans l'entreprise d'experts en résolution de problèmes et analyse statistique (Les *Black Belt* de Six Sigma).

Une entreprise *Lean* doit nécessairement disposer :

- de ces trois niveaux de résolution de problème ;
- de l'organisation qui sollicite les collaborateurs à utiliser le bon niveau d'action ;
- des compétences nécessaires à la conduite des standards de résolution de problème.

L'entreprise doit également être capable de gérer les multiples améliorations au quotidien mais aussi, de temps en temps, des actions de rupture. Les deux

moteurs de progrès : l'amélioration continue et l'amélioration par percée sont complémentaires, et doivent être conduites simultanément.

4.2. Un management qui sollicite les hommes et l'esprit d'équipe

Aujourd'hui, la plupart des entreprises ont véritablement pris conscience de la richesse représentée par le capital humain. Le principal atout, l'élément déterminant de la réussite, c'est l'homme.

Il y a quelques années, on prédisait des usines totalement automatisées, intégrées et déshumanisées. On reconnaît depuis qu'une usine sans homme ne peut pas progresser et évoluer, puisque seul l'homme est source de remise en cause et d'amélioration.

Par ailleurs, la plupart des outils développés dans le cadre du *Lean Management* nécessitent autonomie, flexibilité, formation, motivation, polyvalence, polytechnicité, mobilité et efficacité du groupe de travail – autant d'éléments indispensables, mais éloignés d'une culture d'entreprise occidentale traditionnelle…

Faire du *Lean Managemen*t, c'est devenir sportif et rester sportif. Cela demande un changement profond des usages et des mentalités. Pour rester en forme, il faut préparer l'entreprise pour un entraînement quotidien et une remise en question permanente, comme le font les grands champions. Une victoire aujourd'hui ne donne aucune garantie de victoire demain.

4.2.1. Les facteurs qui créent le mouvement

Le point de départ du changement se situe au niveau de la stratégie de l'entreprise. Nous sommes fréquemment surpris de constater combien la stratégie d'une entreprise est méconnue par la plupart des acteurs de celle-ci. Même s'il y a des éléments confidentiels de la stratégie qui ne doivent être connus que par quelques personnes, il est nécessaire que chaque individu connaisse la contribution qu'il doit apporter à cette stratégie. Cela passe par le déploiement stratégique : à partir des axes stratégiques majeurs de l'entreprise, on doit les déployer en objectifs pour chaque direction, puis pour chaque service, puis pour chaque groupe d'individus pour qu'ils connaissent leurs missions d'amélioration pour l'année suivante. Pour être efficace, le *Lean Management*, en particulier, doit se décliner en objectifs de moyen et court terme compréhensibles et réalisables par tous. Comment peut-on raisonnablement demander à quelqu'un de prendre des décisions, de faire des choix efficaces s'il ne sait pas où il doit aller ?

Par ailleurs, pour obtenir la participation active de chacun, il faut créer dans l'entreprise un climat social qui incite à cela.

La communication

On constate souvent une circulation de l'information défaillante dans l'entreprise. Certains sont assaillis d'informations qu'ils ne comprennent pas toujours, d'autres au contraire manquent d'informations.

Il faut chercher à développer les conditions d'un système de communication écrit, visuel et oral efficace. La communication doit être « professionnelle et productrice de valeur ajoutée » comme le précise O. GÉLINIER dans son ouvrage *Stratégie de l'entreprise et motivation des hommes*.

La formation

Dans l'entreprise, on recherche des personnes polyvalentes, flexibles et autonomes. La formation est en cela un atout essentiel. Elle doit être pertinente pour engendrer une modification des comportements.

L'entreprise a l'obligation de consacrer une partie de sa masse salariale à la formation. Il faut la dépenser utilement, et sans doute aller au-delà des minima obligatoires. Les entreprises sont amenées à engager un vaste plan de formation du personnel qui dépasse largement le simple apprentissage des techniques de maintenance ou de qualité, mais qui vise à augmenter le niveau moyen de culture générale de l'entreprise. C'est au prix d'un investissement dans « l'intelligence » que l'on pourra demander aux opérateurs une plus grande polyvalence et un enrichissement de leurs tâches.

Un management *Lean* doit développer une culture d'ouverture d'esprit et de remise en cause permanente : « J'apprends toujours et j'ai plaisir à apprendre. »

La motivation

C'est le véritable catalyseur de l'action ; c'est donc une composante déterminante du changement de culture dans l'entreprise. Malheureusement, les acteurs de l'entreprise ne se réveillent pas le matin en se découvrant motivés ! La motivation se crée, se travaille et s'entretient. De nombreuses entreprises, quand elles détaillent les étapes du *Lean Management*, présentent la phase « mise en place du management motivationnel ». Cette idée, développée par de nombreux cabinets conseils, a aujourd'hui tendance à s'élargir. On considère qu'il ne suffit plus d'être motivé, il faut être impliqué et s'engager dans les projets de l'entreprise. Une histoire très répandue dans le milieu des spécialistes de gestion de production et de qualité permet de comprendre la différence

existant entre implication et engagement. Il s'agit de l'histoire de l'œuf au bacon. Dans un œuf au bacon, la poule n'est qu'impliquée (par le biais de l'œuf) alors que le porc est engagé (puisqu'il est dedans)… Sans aller jusque-là, nous pensons que si une masse critique de personnes était suffisamment motivée, tous les phénomènes de résistance aux changements, d'immobilisme, d'inertie, très générateurs de problèmes seraient évités.

L'esprit d'équipe

Pour être réactif, il faut créer un véritable « esprit d'équipe ». Dans une entreprise *Lean*, chacun a son rôle mais on n'enferme pas les gens par une définition de fonction trop stricte. On doit créer un esprit d'équipe à l'image d'une équipe de football dans laquelle les avants n'hésitent pas à couvrir le terrain pour suppléer une faiblesse passagère des lignes arrière. On le sait bien, le résultat de l'équipe n'est pas la somme des valeurs individuelles mais la somme multipliée par un coefficient d'unité d'équipe. Ce coefficient peut être largement supérieur à 1 dans le cas d'une dynamique réussie, mais il peut également être très largement inférieur à 1.

Cet état d'esprit se traduit également dans la notion de progression qui est souvent comprise au sens occidental comme une progression hiérarchique. Dans un groupe « Lean », on cherche à responsabiliser l'équipe. La progression s'entend par différentes évolutions sur le poste de travail :

- moyen de production : prise en charge d'un ensemble plus important de tâches de réglage, de maintenance ;
- qualité : passage d'un simple respect de consignes à un pilotage de la qualité et à l'amélioration du système de production ;
- environnement : participation active à la recherche d'un cadre de travail plus attractif ;
- résolution de problème : passage d'une position passive face aux problèmes à une véritable participation avec le groupe, à des démarches de résolution de problèmes et d'amélioration de la performance industrielle.

4.2.2. Pérenniser le mouvement

Une entreprise *Lean* doit sans cesse se reposer la question de la façon dont chacun de ses collaborateurs est sollicité pour participer au progrès continu de l'entreprise. C'est pourquoi de nombreuses entreprises ont mis en place des points quotidiens ou hebdomadaires où tous les collaborateurs se réunissent par petits groupes pour :

- rappeler les standards de l'entreprise ;

- solliciter des idées à partir des perturbations relevées sur le terrain ;
- discuter des suggestions de progrès ;
- faire le point sur les actions en cours, les indicateurs visuels de performance (c'est d'ailleurs le meilleur moyen pour faire prendre conscience aux utilisateurs de l'intérêt réel qu'il y a à avoir des indicateurs de performance qui permettent d'analyser une situation sur des informations précises et fiables et de discuter des actions d'amélioration à prendre).

L'entreprise *Lean* favorise le travail en équipe et le progrès des hommes par le biais de formations croisées entre plusieurs services ou plusieurs personnes. Cette formation croisée développe la polyvalence, et peut permettre de faire face à une période de surcharge dans un secteur.

Les méthodes de résolution de problème et l'ensemble des approches utilisées favorisent le travail en équipe et la recherche de consensus. Par exemple, le A3 Report, qui sera présenté rapidement au chapitre 12, formalise sur une seule feuille A3 l'ensemble des éléments d'un problème. Cette feuille circule vers l'ensemble des personnes concernées où chacun peut mettre ses annotations jusqu'à ce que la solution qui fasse consensus émerge.

Ce travail d'équipe, cet état d'esprit *Lean* qu'il faut instaurer dans l'entreprise, dépend aussi des qualités sociales des collaborateurs. Il faut donc prendre soin de choisir les nouveaux collaborateurs non seulement en fonction des simples qualités techniques, mais aussi des qualités sociales. Une entreprise c'est comme une équipe de foot, il ne suffit pas d'avoir les meilleurs joueurs pour avoir une équipe qui gagne, il faut aussi savoir créer cet esprit de groupe qui fait les grandes équipes.

5. *LEAN* AU-DELÀ DE LA PRODUCTION

Cet ouvrage a pour objectif de décrire les bonnes pratiques de gestion de production. La description du *Lean* que nous avons faite s'est donc concentrée sur les aspects production. Cependant, le *Lean* ne s'arrête pas à la production. Il doit toucher tous les éléments de la *supply chain* et tous les services de l'entreprise. Ce doit être le cas, par exemple, des bureaux d'études qui doivent réduire les cycles de développement des nouveaux produits, des services comptables qui doivent apporter le plus grand soin, par exemple, dans la réalisation des factures (un client peut être satisfait d'un produit mais pas de la facture qui comporte des erreurs), des commerciaux qui doivent être les promoteurs des effets positifs (réduction des délais, des prix, des stocks…) de la démarche *Lean* auprès des clients, des fournisseurs avec lesquels on doit créer de nouvelles relations.

Mais il faut surtout que l'entreprise soit résolument tournée vers ses clients. Elle doit être à leur écoute en développant une attitude prospective.

5.1. Une attitude prospective vis-à-vis de ses clients

Pour pouvoir réagir rapidement, il faut une structure d'entreprise agile et réactive, mais il faut également que l'entreprise développe des organes sensoriels pour être à l'écoute de la société. Un peu à l'image du sportif de haut niveau, il ne suffit pas pour réussir d'un excellent entraînement, il faut également avoir une perception claire de l'environnement pour être capable de réagir positivement à toute évolution.

Se mettre à l'écoute des clients, c'est avoir une action en profondeur d'écoute de la voix du client. Il est donc indispensable de réaliser en permanence une étude de marché la plus complète possible, pour bien identifier les besoins.

À cet effet, il faut :

- identifier les différentes catégories de clients potentiels ;
- analyser les produits :
  - produits vendus par l'entreprise ;
  - produits concurrents ;
- écouter la voix des personnes intéressées directement ou indirectement par le produit :
  - les clients ;
  - les propriétaires ;
  - ceux qui ont acheté vos produits ;
  - ceux qui ont acheté les produits concurrents ;
  - ceux qui sont passés aux produits concurrents ;
  - ceux qui sont satisfaits ;
  - ceux qui ne sont pas satisfaits ;
- identifier toutes les attentes clients par rapport au produit :
  - les innovations souhaitées ;
  - la hiérarchie entre les différentes attentes ;
  - les fonctions essentielles ou facultatives ;
  - la liste des améliorations potentielles à apporter.

Cette étude doit couvrir les aspects techniques et émotionnels en recourant à différentes méthodes :

- sondage (courrier, téléphone) ;

- cliniques (les clients viennent avec leurs produits et discutent du produit) ;
- groupes de discussion (une heure ou deux avec des personnes représentatives) ;
- interviews individuelles (pour faire ressortir les attentes des personnes silencieuses) ;
- écoute dans la structure de vente, les foires, les expositions…
- information existant au sein des archives de l'entreprise.

Pour développer ces deux aspects (sensitif et prospectif), l'entreprise doit se mettre à l'écoute de ses clients mais aussi du monde extérieur, des grandes évolutions de pensée. Par exemple, on assiste à plusieurs évolutions de courants de pensée dans le monde actuel ; citons la recherche de l'éthique dans les affaires industrielles, la recherche d'un commerce équitable, une prise de conscience majeure des enjeux écologiques. Face à ces évolutions de la société, quelle est la réflexion de l'entreprise ? Comment situe-t-elle les développements de ses nouveaux produits ? Réagit-elle positivement ou bien reste-t-elle arc-boutée sur des positions qui, à la longue, deviendront intenables ?

5.2. La réduction des cycles de développement des produits

Le *Lean Management* est lié à l'accélération du fonctionnement des processus. C'est vrai pour le processus de production mais c'est également vrai pour les autres processus comme le développement de nouveaux produits, la facturation, les approvisionnements…

Le développement de nouveaux produits est particulièrement important dans la démarche *Lean*. Pour adapter l'entreprise aux situations fluctuantes du marché, il faut être capable de développer, en un temps record, de nouveaux produits accueillis positivement par les clients.

Le premier point qui permet de développer dans un temps record concerne le raccourcissement du délai de développement, facteur décisif de compétitivité. Il est donc vital de réduire les temps de cycle. Traditionnellement, le processus de développement est un processus séquentiel composé d'une succession d'étapes et de jalons. Pour pouvoir commencer l'étape n + 1, on attend d'avoir terminé l'étape *n*. Cette façon de faire est très consommatrice de temps. Un développement *Lean* consistera à économiser du temps en faisant le plus d'étapes possible en parallèle, ou au moins en chevauchement. Pour ce faire, il faut être capable de commencer à travailler avec des données imprécises, qui se préciseront au fur et à mesure du développement. Il faut également réduire les allers-retours dans le développement.

Ces deux éléments (réduction des allers-retours et travail en parallèle) paraissent parfois incompatibles. En effet, si je développe sur des éléments qui évoluent, cela risque de remettre en cause tout le travail déjà réalisé. Pour éviter cela, il faut réaliser le même travail de différenciation « au plus tard » que celui que l'on a réalisé dans les ateliers de production.

Prenons l'exemple du développement d'une nouvelle montre. Le marketing n'a pas besoin de définir complètement le produit avant que le bureau d'études commence à travailler. Le type de décoration sur le cadran, le bracelet éventuellement pourront être définis plus tard. Dans certains cas, on peut même laisser un peu de liberté sur certains points de la forme extérieure. Le tout est de bien organiser le développement pour permettre des modifications « au plus tard », en définissant parfaitement à chaque étape les choix qui ne pourront pas être remis en cause sans pénaliser fortement le délai de développement.

Le second point qui permet de développer dans un temps record consiste à réaliser des développements sur des connaissances solides et sur des progrès validés par des essais. Le prototype de validation ne doit pas servir à valider un nouveau concept. Il est fondamental de séparer les essais expérimentaux des essais de validation :

- les essais expérimentaux valident de nouveaux concepts. Ils ne sont pas intégrés dans un cycle de développement de produit. On peut donc subir des échecs de développement sans pénaliser la sortie d'un nouveau modèle. Lorsque le concept est validé, alors on peut l'intégrer comme un module dans un cycle de développement de produit ;
- les essais de validation n'ont comme fonction que de valider la conception. Dans le cas d'une conception bien conduite à partir de concepts validés par ailleurs et avec une étude sérieuse des défaillances potentielles par l'AMDEC[1]. La validation ne doit conduire qu'à des modifications mineures ne pénalisant pas le délai de développement.

Cette méthode de développement accéléré porte le nom d'ingénierie simultanée. Elle a été développée tout d'abord dans l'automobile où le développement de nouveaux produits est un élément clé à la survie sur le marché impitoyable que l'on connaît. On peut remarquer qu'un certain nombre de problèmes se sont révélés suite à l'utilisation de cette méthode de manière

1. AMDEC, Analyse de Modes de Défaillance de leurs Effets et de leurs Criticités : voir pour plus de détail l'ouvrage de D. Duret et M. Pillet, *Qualité en production*, Éditions d'Organisation, 2005.

non suffisamment rigoureuse. Le développement très rapide, voire trop rapide, amène parfois à l'incapacité de revenir en arrière, de remettre en cause certaines parties des projets. C'est ainsi qu'on a pu observer l'apparition, pour de nombreux constructeurs automobiles, sur de nombreux modèles, de défauts observés, qui nécessitent le rapatriement de milliers de véhicules défectueux pour corriger le problème, ce qui représente pour les entreprises concernées des sommes prohibitives. Cette méthode doit donc être appliquée avec beaucoup de savoir-faire et de rigueur…

6. Conclusion

L'ensemble des aspects du *Lean Management* que nous avons décrit dans ce chapitre donne la dimension d'une telle approche de la performance industrielle. Il s'agit dans un premier temps de définir une stratégie claire et de la déployer dans tous les secteurs de l'entreprise au travers de méthodes, d'outils, mais également et c'est peut-être cela le plus important, d'une certaine culture de l'entreprise.

La recherche de l'excellence pour le client est la finalité du *Lean Management* ; c'est cette recherche d'excellence qui permet à l'entreprise de continuer à prospérer dans un monde où tout évolue. La plupart des entreprises ont désormais assimilé les principes essentiels du *Lean*. Elles s'approprient ces concepts en développant un *Production System* ou même un *Business System* propre à l'entreprise, mais qui s'inspire fortement du *Toyota Production System*. Ces systèmes de production permettent de donner de la cohérence dans l'utilisation de l'ensemble des outils *Lean*, dont nous présenterons les principaux outils dans les chapitres suivants.

Chapitre 12

Les principaux outils du *Lean*

1. Introduction

Le chapitre 11 nous a permis de décrire les grands principes du *Lean Manufacturing*, sa philosophie et la dynamique de progrès dans laquelle doit s'inscrire une démarche *Lean*. Cependant, pour soutenir ces principes, de nombreux outils ont été créés et sont utilisés. Plusieurs de ces outils sont décrits dans les différents chapitres de cet ouvrage tels que :

- l'implantation des machines organisées en cellule ou en ligne de production qui permet d'optimiser les ressources hommes et machines en minimisant les gaspillages (voir chapitre 14) ;
- le Kanban qui contrôlent le flux des ressources dans un processus de production en flux tirés (voir chapitre 13).

Ce chapitre nous permettra d'aborder les autres principaux outils indispensables à la réussite d'un projet *Lean*. L'objectif de ce chapitre n'est pas de décrire l'exhaustivité des outils, mais de décrire les plus communément utilisés.

2. Les 5S

Le premier outil que nous étudierons est le 5S. Sans doute un des outils les plus déployés dans les entreprises, même si parfois c'est de façon très imparfaite. Les 5S représentent le préalable au *Lean Management*. Les industriels japonais ont coutume de dire que toute action de juste-à-temps doit commencer par au moins deux ans de campagne 5S.

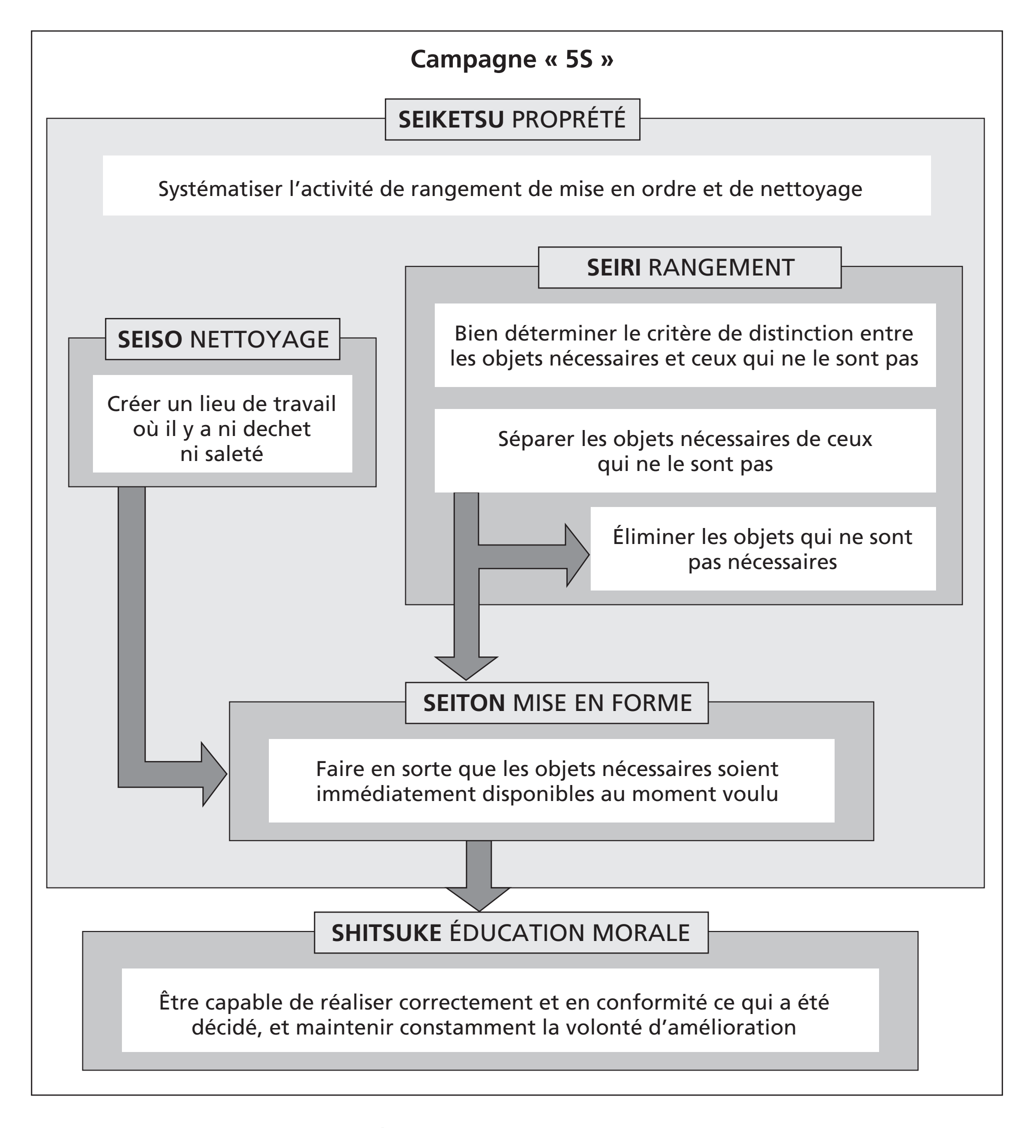


Figure 12.1 – Campagne 5S

Les 5S sont les cinq initiales de mots japonais qui ont pour objectif de systématiser les activités de rangement, de mise en ordre et de nettoyage dans les lieux de travail. Ces mots commençant par S sont les suivants :

- SEIRI – Rangement.
- SEITON – Mise en ordre.
- SEISO – Nettoyage.

- SEIKETSU – Propreté.
- SHITSUKE – Éducation morale.

De plus, la démarche 5S met tout en œuvre pour maintenir et améliorer l'état actuel de la situation.

La finalité de la méthode est d'améliorer :

- la qualité des pièces produites ;
- la sécurité ;
- l'efficacité ;
- le taux de pannes.

La figure 12.1 indique les grandes étapes d'une démarche 5S. Cette figure est la traduction d'une affiche que nous avons vue dans plusieurs usines japonaises lors d'une visite.

Une campagne 5S s'articule autour de deux phases :

- phase de mise à niveau pour obtenir une organisation du poste de travail adaptée :
  - Seiri ;
  - Seiton ;
  - Seiso.
- phase de maintien de l'acquis pour conserver les standards acquis et continuer à progresser :
  - Seiketsu ;
  - Shitsuke.

2.1. Mise à niveau

2.1.1. SEIRI : rangement, trier l'utile et l'inutile

Cette étape consiste à faire le tri entre les objets nécessaires et les objets inutiles sur le poste de travail. La manie d'accumuler et de garder « parce que cela peut servir » ne favorise pas la propreté du poste et l'efficacité d'une recherche.

En général, on utilise un système de classification du type ABC :

A = Usage quotidien.

B = Usage hebdomadaire ou mensuel.

C = Usage rarissime.

Cela permet de déterminer ce qui mérite effectivement d'être au poste de travail, ce que l'on peut éloigner et ce dont il faut se débarrasser. Cette première étape doit être visible sur le poste de travail.

Souvent dans les premières phases de mise en place de la méthode, il est difficile de faire comprendre aux opérateurs la nécessité de se séparer d'un certain nombre d'éléments. C'est la raison pour laquelle, on voit souvent apparaître sur les chantiers pilotes de type 5S des ZAD (zones en attente de décision) qui vont regrouper tous les éléments que l'on n'a pas encore décidé d'éliminer mais qui ne sont plus rangés sur le poste, et dont on va se rendre compte de l'inutilité assez rapidement puisque l'on n'ira pas les chercher dans la ZAD… Cette ZAD a une importance psychologique intéressante sur les postes de travail pour ne pas frustrer les opérateurs dans les premières phases de mise en place de la méthode, phases dans lesquelles ils ne sont pas encore complètement convaincus par celle-ci !

2.1.2. SEITON : mettre en ordre, réduire les recherches inutiles

Le Seiton s'illustre par le proverbe : « Une place pour chaque chose et chaque chose à sa place. » Dans cette étape, on cherchera à organiser le poste de travail de façon fonctionnelle et à définir des règles de rangement de façon à trouver immédiatement les outils nécessaires. L'objectif est de pouvoir ranger et retrouver en trente secondes documents et outils usuels.

Le Seiton peut consister à peindre les sols afin de pouvoir visualiser aisément les saletés, délimiter visuellement les aires de travail, ombrer les emplacements d'outils sur les tableaux… Dans les bureaux, on pourra également équiper les tiroirs de panneaux en mousse découpés afin de repérer immédiatement l'emplacement de l'agrafeuse, par exemple. On va également définir des règles d'organisation des répertoires sur un disque dur, afin de retrouver rapidement une information.

2.1.3. SEISO : le nettoyage régulier

Les deux premières étapes ont permis d'obtenir une organisation rationnelle du poste. Comme l'indique la figure 12.1, l'étape SEISO n'est pas séquentielle par rapport aux deux précédentes étapes mais commence en parallèle. Dans un environnement propre, une fuite ou toute autre anomalie se détecte plus facilement et plus rapidement. Le nettoyage régulier est une forme d'inspection. Il sert aussi à contrôler l'état de fonctionnement des machines. Ainsi, le manque d'huile, les boulons mal serrés, les pièces présentant une usure précoce sont autant d'anomalies que peut révéler cette simple inspection de

routine. On doit identifier, et si possible, éliminer les causes de salissures, définir ce qui doit être nettoyé, les moyens pour y parvenir et la fréquence de nettoyage.

2.2. Maintien

2.2.1. SEIKETSU : propreté, conserver propre et en ordre

Les 5S sont faciles à appliquer ponctuellement. En faire une habitude est plus difficile. Il faut formaliser les règles et définir des standards avec la participation du personnel. Cette appropriation permet plus facilement par la suite de faire appliquer et respecter les règles établies aux trois étapes précédentes. L'étape Seiketsu doit permettre d'éviter de retourner aux vieilles habitudes. On peut prendre l'exemple d'une famille de cinq personnes, si chacun pose ses chaussures et son manteau de façon aléatoire dans l'appartement, très vite le désordre s'installe. Les trois premières règles auront permis de définir un placard bien positionné dans l'appartement pour ranger facilement vestes et chaussures. De même, le Seiketsu consistera à définir les règles de rangement et à les faire respecter.

2.2.2. SHITSUKE

Cette dernière étape va principalement consister à établir un suivi de l'application de l'ensemble des règles et décisions qui ont été prises lors des quatre premiers S. Elle servira également à alimenter le processus d'amélioration continue (Kaïzen), en modifiant et en faisant évoluer le processus lorsque cela s'avère nécessaire.

Cette étape se fait à base d'auto-évaluation par audit, afin de promouvoir un esprit d'équipe. Pour garantir une pérennité dans le temps, un certain nombre de points devront être réalisés :

- instaurer des règles de comportement à l'aide de la communication visuelle et de la formation ;
- vérifier que chacun participe, agit, se sent concerné et prend conscience de sa responsabilité envers la tâche qui lui incombe.

2.3. Mise en place des 5S

La mise en place du 5S doit se traduire par l'implication de tous les membres du groupe. Elle ne peut donc pas être réalisée sans un travail de groupe. L'avantage principal du 5S est qu'il est visible rapidement. On voit tout de suite les progrès que l'on fait. Cela est très motivant pour l'équipe et permet

de « mettre en mouvement » les collaborateurs. Le 5S est également une bonne formation aux principes du management visuel et aux standards que nous avons abordés dans le chapitre précédent. Les standards de rangement, d'organisation des postes, les règles de maintenance préventive doivent être compris sans avoir besoin de lire une quelconque instruction.

Le déploiement du 5S doit être également une occasion de forte communication dans l'équipe. En ce sens, il est indispensable de formaliser cette communication au travers d'un tableau de communication 5S, qui se présente généralement sous la forme de la figure 12.2.

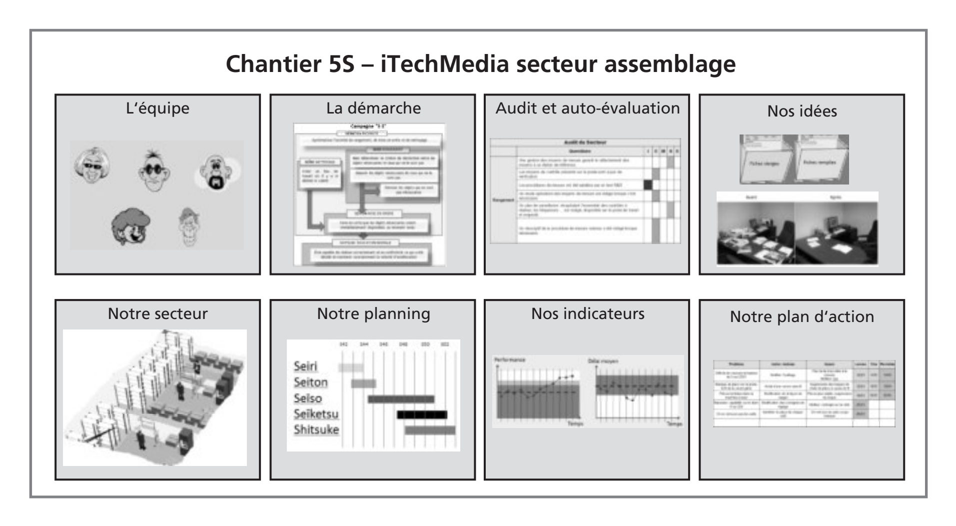


Figure 12.2 – Tableau de communication 5S

3. Cartographie du flux de valeur (VSM, VSD)

Nous l'avons dit au chapitre précédent, pour piloter correctement, il faut voir. C'est le principe de base du management visuel. Cela s'applique évidemment lorsque l'on veut maîtriser les flux physiques et les flux d'informations qui contribuent à apporter de la valeur pour le client. Le problème est que l'implantation physique des moyens de production est souvent difficile à visualiser d'un seul regard. De plus, les flux d'informations sont par nature invisibles. Pour rendre tout cela visuel, on doit cartographier le processus actuel. C'est l'objet de la VSM (*Value Stream Mapping*) qui a pour objectif de cartographier l'ensemble des flux de valeur (qui apportent ou non de la valeur ajoutée). Elle doit être accompagnée d'une VSD (*Value Stream Design*), qui représentera l'état souhaité des flux de valeur. La comparaison des deux cartographies permettra d'établir le programme de travail.

Une des premières choses à faire lorsque l'on doit réaliser une VSM consiste à définir le périmètre. Deux éléments doivent être considérés, le produit ou la famille de produit qui doit être cartographiée et l'étendue physique que l'on souhaite cartographier (l'atelier, l'entreprise, l'ensemble de la *supply chain*). La figure 12.3 montre comment une chaîne logistique complète peut donner lieu à plusieurs VSM.

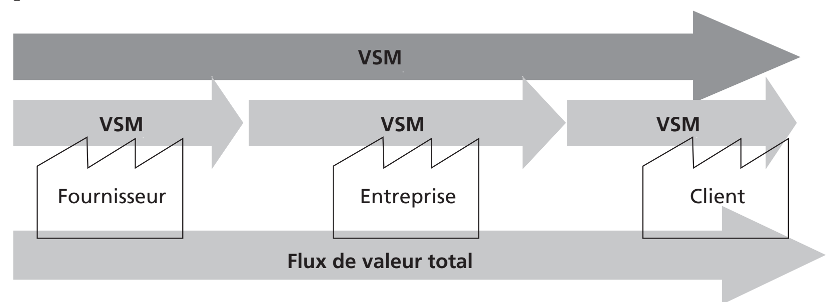


Figure 12.3 – Périmètres d'une VSM

Une VSM se commence généralement en remontant le flux de la production. Si l'on veut construire la VSM de l'entreprise **iTechMedia** dont l'implantation actuelle est rappelée en figure 12.4, on commencera par l'expédition des produits finis vers les clients. La figure 12.5 donne la cartographie VSM de cette implantation.

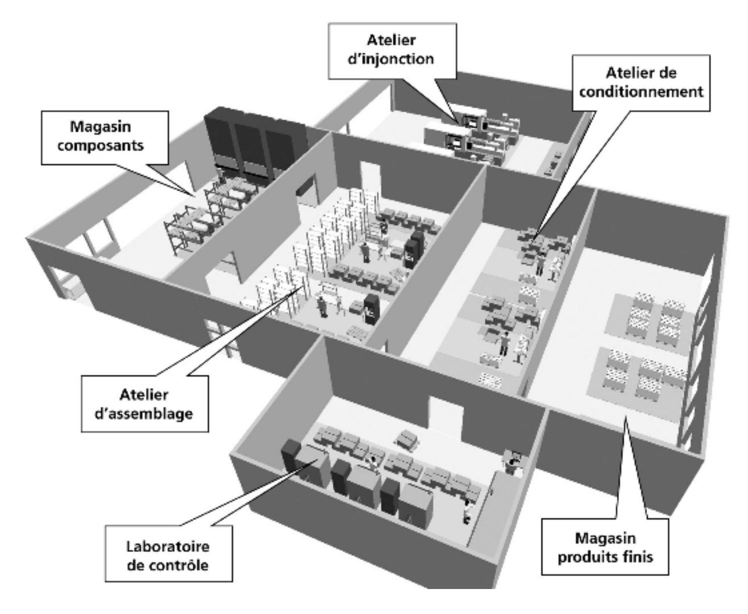


Figure 12.4 – Implantation actuelle de l'entreprise iTechMedia

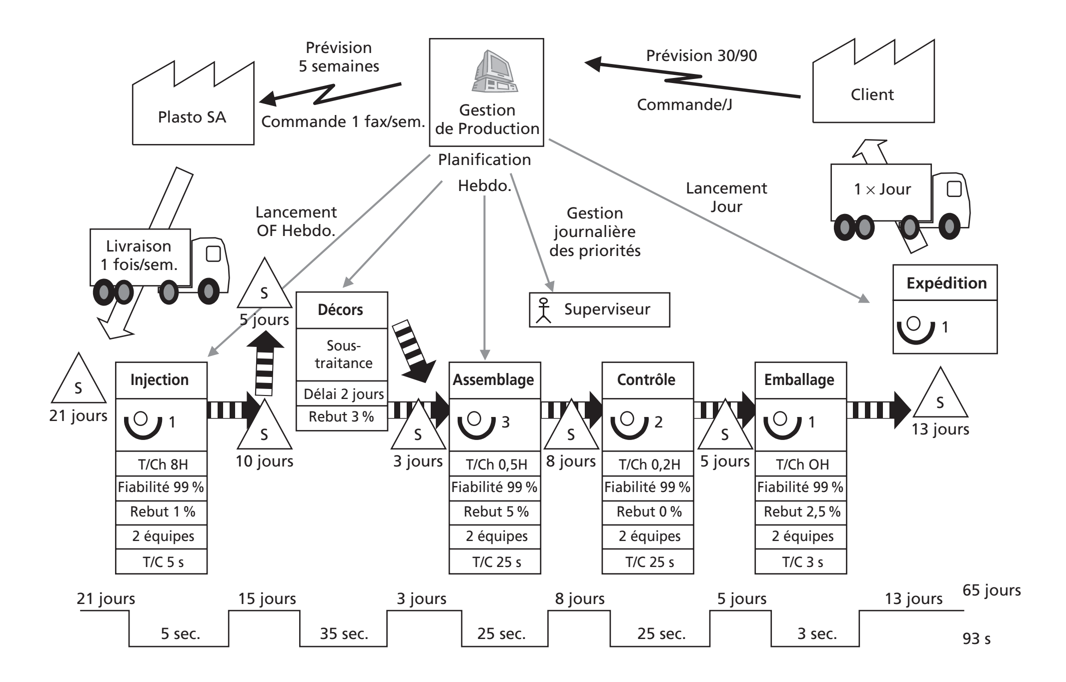


Figure 12.5 – VSM de l'implantation actuelle

La cartographie (figure 12.5) consiste à suivre l'ensemble du processus pour identifier tous les éléments de la performance sur chaque étape. On cherchera à identifier l'ensemble des éléments importants du flux de valeur comme :

- les délais ;
- les temps de cycle, de valeur ajoutée ;
- les rebuts, retouches…
- les temps de changement de séries ;
- la fiabilité des machines ;
- …

Comme le montre la figure 12.5, la VSM permet d'avoir en un seul document les éléments principaux tant sur les flux physiques que sur les flux d'informations. Pour être partageable par tout le monde, la construction d'une VSM suit des règles de construction précises avec des codes graphiques dont les figures 12.6 et 12.7 donnent les principaux éléments.

Ainsi, un stock est-il symbolisé par un triangle, un poste de production par une boîte accompagnée d'une boîte d'information contenant les principales informations sur le poste. Un flux poussé se représente par une flèche zébrée…

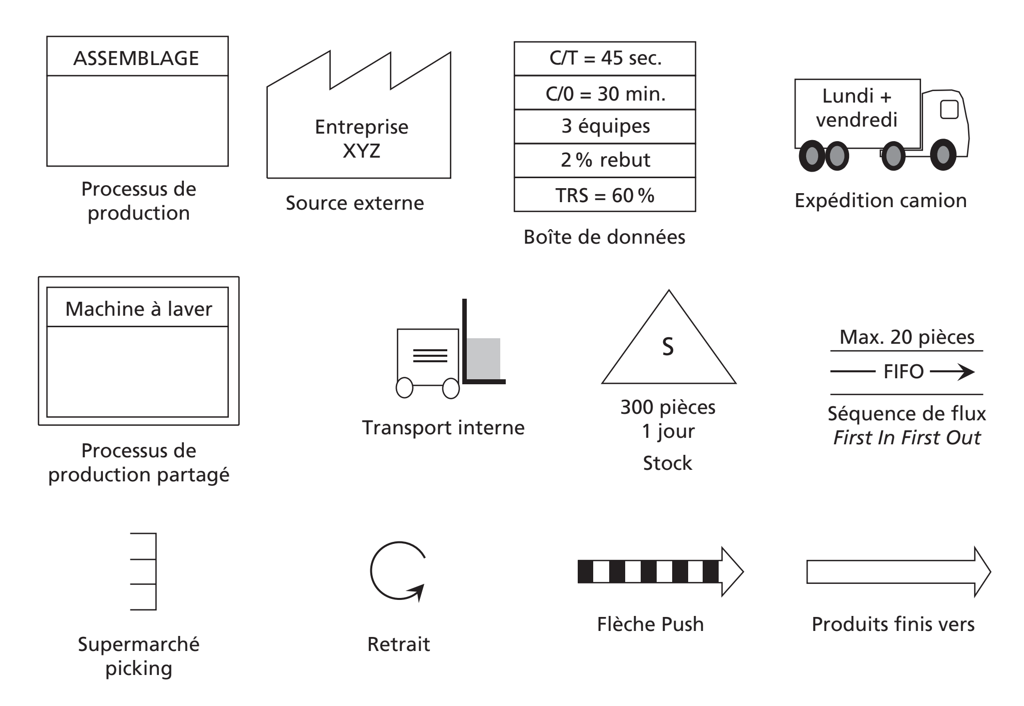


Figure 12.6 – VSM Représentation des flux physiques

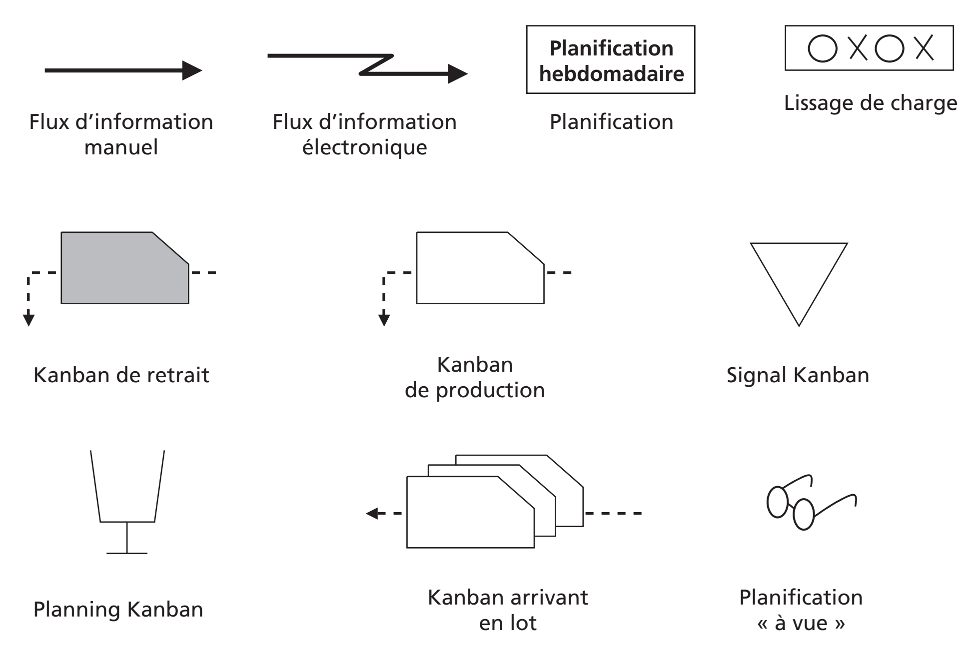


Figure 12.7 – VSM Représentation des flux d'informations

La VSM permet de visualiser et de partager avec le groupe de travail les foyers importants de perte de performance et générateurs de délais. Si l'on reprend l'exemple de l'entreprise **iTechMedia**, on note facilement sur la VSM un délai de production de soixante-cinq jours alors que le temps de valeur ajoutée n'est que de quatre-vingt-treize secondes. Le graphique des temps montre qu'un tiers de ce délai est déjà pris par le stock de matières premières qui est de trois semaines alors que les livraisons se font de manière hebdomadaire. On note également que la planification hebdomadaire des ordres de fabrication introduit une logique de flux poussés, qui contribue à créer les stocks d'en-cours tout au long du processus.

On peut ainsi calculer le ratio d'efficacité des processus (REP) également appelé ratio de tension des flux (RTF) qui se calcule par la relation :

$$REP = \frac{\text{Temps d'apport de Valeur Ajoutée}}{\text{Temps total}} = \frac{93}{65*24*3\,600} = 0{,}00165\%$$

Partant de cette situation, on peut créer une VSD de ce processus en prenant un certain nombre d'actions :

- découpler l'injection plastique du reste de la production, à cause du temps de changement de série très élevé de la presse à injecter et difficile à réduire.
- regrouper physiquement les trois derniers postes et créer une cellule en U ;
- planifier la cellule en U quotidiennement en fonction des commandes clients, de la charge disponible en lissant la charge ;
- mettre en place un Kanban de production entre l'atelier d'injection et la cellule en U pour piloter les presses à injecter ;
- conserver la planification MRP pour réaliser les commandes de composants, mais supprimer la fonction de lancement des ordres de fabrication qui sera remplacée par un lissage de charge journalier sur la cellule en U ;
- mettre en place un FIFO entre la cellule en U et l'expédition ;
- mettre en place un Kanban de retrait pour approvisionner la cellule en U en fonction du lissage de charge effectué ;
- mettre en place un petit train entre les stocks et les cellules en U. Ce petit train approvisionne la cellule par l'extérieur ;
- ramener le stock de matière première à une valeur de sept jours, suffisante compte tenu des approvisionnements hebdomadaires.

Pour visualiser cette nouvelle organisation de la production, on réalise une VSD (*Value Stream Design*) de la solution envisagée.

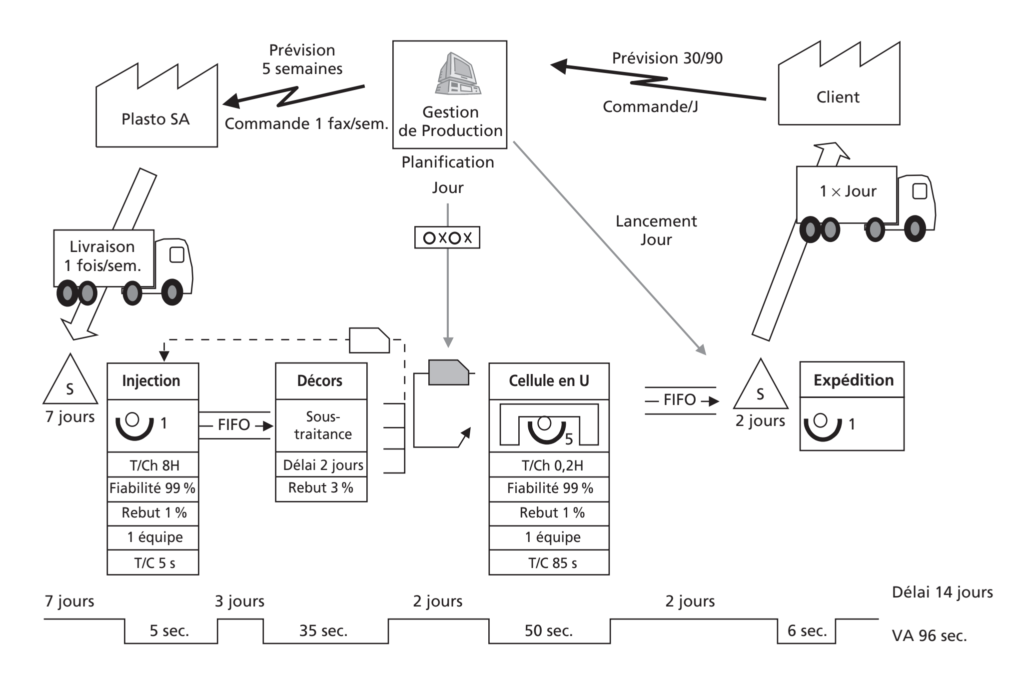


Figure 12.8 – VSD de la solution envisagée

Cette nouvelle organisation montre une réduction du délai de soixante-cinq à quatorze jours, et une réduction considérable du niveau d'en-cours et de stock. L'étape suivante consiste à faire le planning de mise en place de l'ensemble de ces actions afin d'obtenir réellement les gains potentiels montrés par la VSD.

4. Amélioration des temps de changement de série – méthode SMED

Comme on vient de le voir avec la VSM, les temps de changement de série sont extrêmement pénalisants pour pouvoir mettre en ligne et tirer les flux. Il faut donc chercher, dans la mesure du possible, à réduire ces temps à quelques minutes (moins de dix si possible).

SMED signifie *Single Minute Exchange of Die*, que l'on peut traduire par « changement d'outils en moins de dix minutes ». Cette méthode a pour objectif la réduction des temps de changement de série, en appliquant une réflexion progressive qui va de l'organisation du poste à son automatisation. L'application de cette méthode implique donc directement la fonction méthode.

Cependant, afin de faciliter les changements de série, des modifications peuvent être apportées au tracé de la pièce. La fonction étude est alors également concernée.

4.1. Introduction

Un des obstacles principaux à la production par petits lots est le temps de changement de série. Il est, en effet, difficile d'envisager une production qui aurait le chronogramme de la figure 12.9.

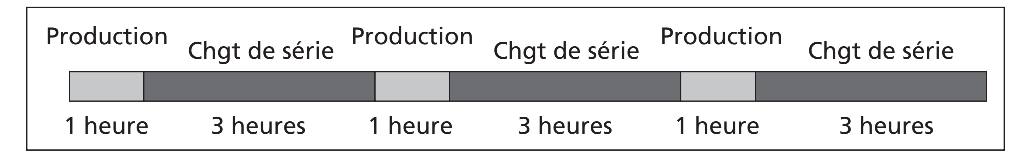


Figure 12.9 – Production avec changements de séries longs

Mais il est plus facile d'envisager celle de la figure 12.10.

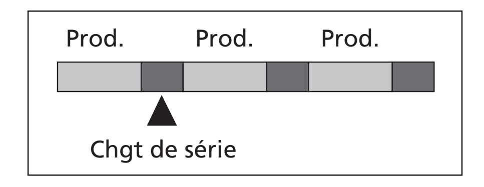


Figure 12.10 – Production avec changements de séries courts

Travailler en flux tendus passe donc obligatoirement par une réduction des temps de changement de série. C'est l'objectif de la méthode SMED.

4.2. La méthode

La méthode SMED (inventée par Shigeo SHINGO, voir ses livres *Maîtrise de la production et méthode Kanban* et *Le système SMED* aux Éditions d'Organisation) distingue, dans un changement de série, deux types d'opérations :

- des opérations internes (IED : *Input Exchange of Die*), qui ne peuvent être effectuées que lorsque la machine est à l'arrêt ;
- des opérations externes (OED : *Output Exchange of Die*), qui peuvent et doivent être effectuées pendant le fonctionnement de la machine.

Pour mettre en œuvre la méthode SMED, il faut suivre les sept points suivants.

1. Établir la distinction entre IED et OED

Observer le processus et identifier clairement quelles sont les opérations internes (IED) et externes (OED). Si l'OED est possible, il faut l'exécuter en dehors des temps de changement de série. Si l'IED est inévitable, il faut se résoudre à l'exécuter ainsi.

Cette simple distinction entre opérations externes et opérations internes permet par une rationalisation des opérations de changement de série, une réduction de l'ordre de 30% sans apporter au procédé de modifications importantes. En effet, il n'est pas rare, par exemple, que l'opérateur cherche un outillage nécessaire pour le changement de série alors que la machine est arrêtée. Cette attente inutile peut facilement être supprimée par une meilleure préparation de l'opération de changement de série.

2. Transformation des IED en OED

C'est le principe le plus efficace de la méthode SMED. Par une meilleure préparation du travail, on transforme des opérations internes en opérations externes.

Exemples :

- Si le préchauffage est nécessaire sur la machine, le faire en externe.
- Si une phase d'essai est nécessaire, chercher à la supprimer par une meilleure maîtrise du procédé.
- Remplacer des vissages par des clipsages plus rapides à effectuer.

3. Adoption d'une standardisation des fonctions

Pour changer rapidement de série, il faut supprimer le plus possible de réglages sur la machine. À cet effet, il est nécessaire de standardiser les fonctions qui doivent être changées sur la machine.

Exemples :

- Outils sur centre d'usinage. Il n'est plus nécessaire de changer les outils du magasin lors du changement de série.
- Dimensions standardisées des matrices sur presses.

4. Serrages fonctionnels

Exemple du boulon : le boulon est serré lorsque l'on visse le dernier filet, et il est desserré lorsque l'on dévisse le dernier filet. Pourtant, il faut souvent plusieurs tours d'écrou pour arriver à fixer l'outillage, d'où une perte de temps. Il faut chercher par toutes les techniques possibles à optimiser le temps pendant

lequel la machine est arrêtée ; par exemple, se rapprocher le plus possible du concept « enclenchement de cassettes » pour l'installation de l'outillage.

5. Adoption de la synchronisation des tâches

Une mauvaise synchronisation des tâches entraîne souvent des déplacements inutiles, d'où une perte de temps. Cette synchronisation peut amener l'opérateur à se faire aider, par exemple pendant un court instant pour lui éviter d'exécuter plusieurs fois le tour d'une machine.

6. Suppression des réglages

Le réglage d'une machine ne doit subsister que s'il est réellement indispensable. Souvent, celui-ci est un moyen de contourner un problème qui peut être résolu autrement.

Comment supprimer le réglage ?

- utiliser des gabarits : les éléments sont toujours au même endroit au moment du serrage ;
- figer les positions utiles.

Prenons comme exemple le réglage d'une position sur un axe X (figure 12.11).

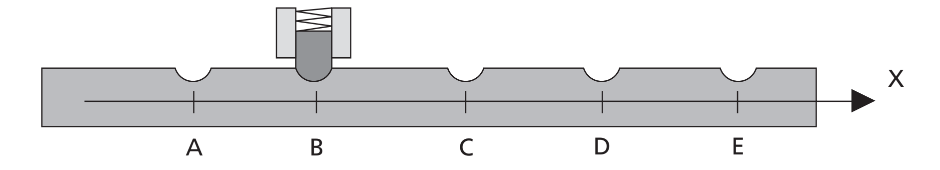


Figure 12.11 – Réglage d'une position sur un axe X

La solution rapide consiste à ne pas permettre le réglage sur l'ensemble de l'axe X, mais discrétiser les positions utiles *A B C D* qui ne demanderont plus de réglage.

7. Adoption de la mécanisation

Ce point doit arriver en dernier car c'est le plus coûteux et pas toujours le plus efficace. Lorsque le coût de réduction des temps de changement de série devient trop important, il faut faire un calcul de rentabilité. Cependant, l'ensemble des apports structurels d'un temps de changement de série rapide reste difficilement chiffrable.

Certaines entreprises préfèrent se limiter à une diminution du temps de changement de série jusqu'à trente à quarante-cinq minutes en raison du coût qu'il

faudrait engager pour le diminuer davantage. En effet, les dernières minutes gagnées sont plus onéreuses que les premières.

4.3. Conclusion

La méthode SMED a permis à de nombreuses entreprises de réduire considérablement les temps de changement de série. Couramment, des entreprises ont opéré une réduction de plusieurs heures à quelques minutes. Les changements les plus spectaculaires ont été obtenus sur les presses dans l'industrie automobile où on est passé de plus de huit heures à moins d'une minute pour un changement dans certaines conditions.

L'application de cette méthode est indispensable, car les longs changements de série sont des obstacles infranchissables pour fluidifier la circulation des pièces. La méthode SMED a fait place à une première évolution, la méthode OTED (*One Touch Exchange of Die*) qui consiste à limiter au maximum les interventions humaines dans le changement de série, et on se dirige actuellement vers la méthode NTED (*No Touch Exchange of Die*) qui consiste à réaliser des temps de changement apparemment nuls, en temps masqués sans aucune intervention humaine.

5. Outils de résolution de problème 8D et A3 Report

5.1. Introduction

Dans une entreprise, ce sont les hommes qui sont à la source des progrès ! C'est pourquoi la résolution des problèmes est un des éléments essentiels du *Lean*. Résoudre un problème ne consiste pas toujours à simplement identifier une solution rapide. Dans de nombreuses situations, la résolution de problème va impliquer une démarche d'analyse, une réflexion intégrant différentes compétences, aboutir à la négociation de compromis… et tout cela dans un certain délai. Si l'on veut être efficace en étant capable de gérer à la fois :

- un travail d'équipe pluridisciplinaire,
- un standard de bon sens qui consiste à réfléchir, analyser avant de décider,
- un projet qui va peut-être durer quelques semaines,

il faut absolument disposer d'une démarche structurée de résolution de problème. Pour ce faire, il existe de nombreux outils, tous calqués sensiblement sur la même logique. Les deux outils les plus couramment utilisés sont les outils 8D (8 Do, 8 étapes nécessaires) et A3 Report.

En général, on dissocie trois niveaux de résolution de problème qui doivent coexister dans une entreprise (Figure 12.12).

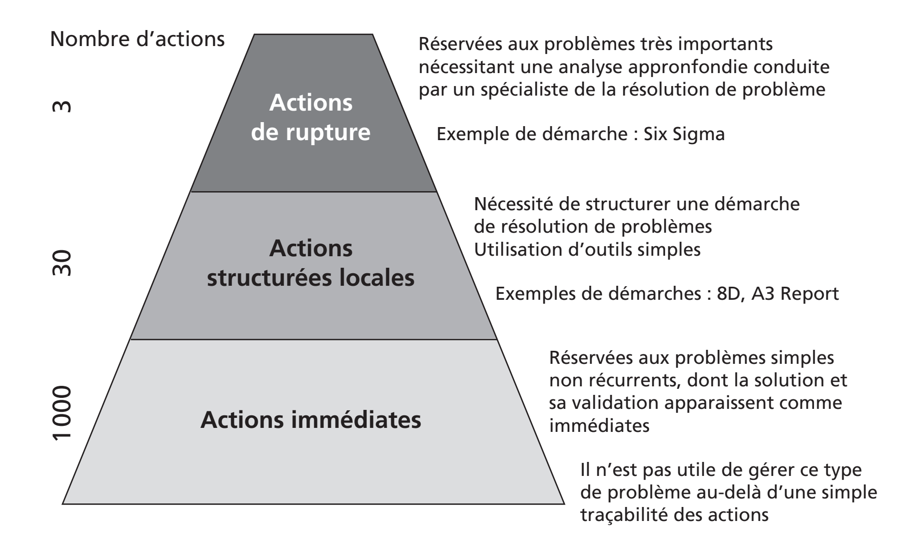


Figure 12.12 – Trois niveaux de résolution de problème

Chacun de ces niveaux est adapté à un type de problème particulier. Il n'est sans doute pas utile de structurer une démarche particulière, lorsque le problème est simple et la solution est immédiate. C'est souvent le cas dans la plupart des petits problèmes quotidiens qui se présentent dans une entreprise. De même, lorsque le problème est très grave, avec des implications budgétaires importantes, il faut faire appel à un expert de la résolution de problème. Hormis ces deux extrêmes, de nombreux problèmes nécessitent un minimum de formalisation pour aider les groupes de travail à avancer de manière structurée. C'est le but des démarches de type 8D ou A3 Report.

5.2. Démarche 8D

L'outil 8D consiste à décliner successivement les huit étapes décrites dans la figure 12.13. Cette démarche permet de rapidement prendre des actions de confinement (D3) qui limitent les conséquences du problème pour le client (élimination du stock contaminé, action de retouche, opérations supplémentaires…). Ces actions de confinement permettent de se donner un peu de temps pour réfléchir (D4 et D5) aux causes racines du problème et de prendre des actions qui non seulement vont éliminer le problème, mais qui vont en plus éviter que celui-ci ne se reproduise. Les étapes D6 et D7 permettent

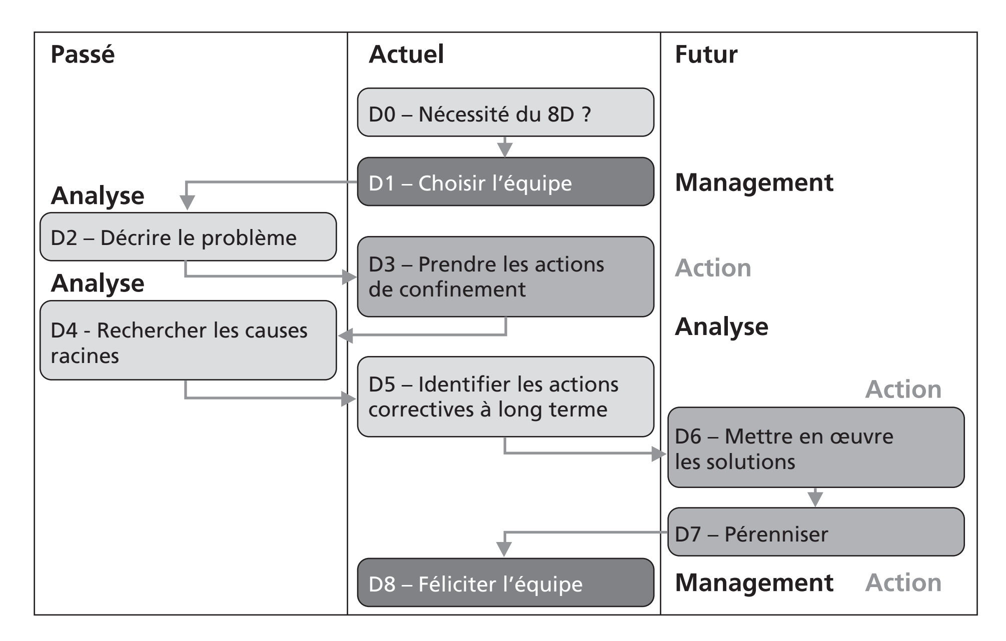


Figure 12.13 – La démarche 8D

la mise en place des actions correctives à long terme, la vérification de leur efficacité, et la modification des standards de l'entreprise pour pérenniser la solution.

La démarche 8D est finalement constituée de trois types d'étape :

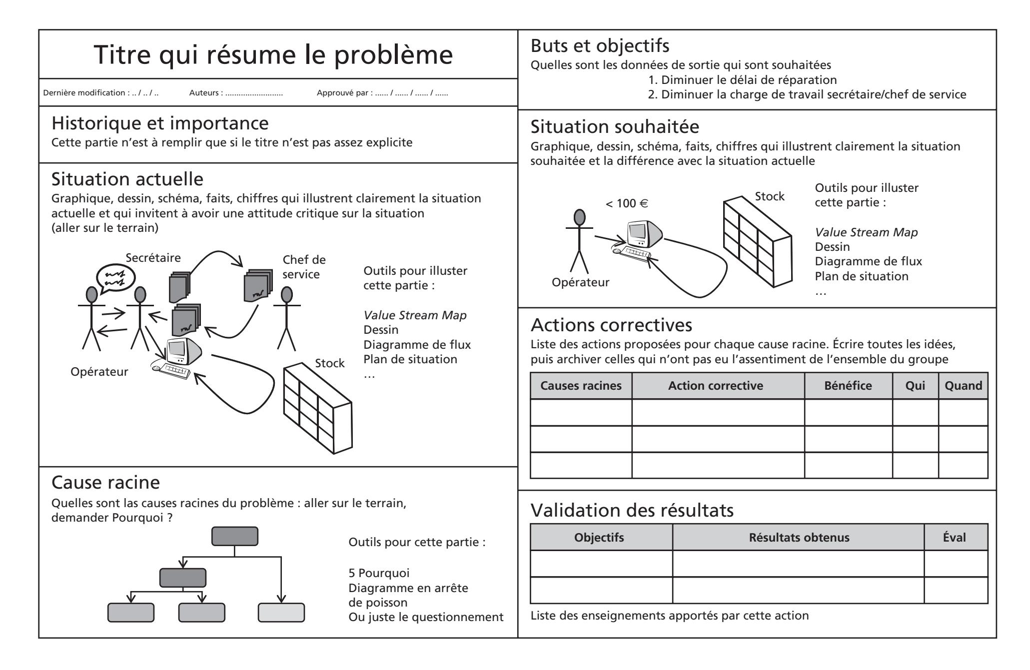
- des étapes de management (D1 et D8) ;
- des étapes d'analyse (D2, D4, D5) ;
- des étapes d'action sur le terrain (D3, D6, D7).

Les éléments clés de la démarche sont notés dans un formulaire 8D généralement formalisé sur une feuille A4 recto verso.

5.3. A3 report

L'approche A3 Report nous vient du *Toyota Production System*. Cette approche consiste à reporter sur une feuille A3 recto, les éléments que l'on retient dans la démarche de résolution de problème. Le but est de formaliser un standard dans la démarche de résolution de problème, mais également de rendre visuel les décisions qui sont prises et de faire valider le document par l'ensemble des personnes concernées. Si l'on arrive à mettre l'essentiel des éléments relatifs à la résolution d'un problème sur le recto d'une feuille de papier alors la pensée du groupe de travail sera structurée, favorisant la

recherche de consensus. Tant que tout le monde n'est pas d'accord sur la décision, on fait évoluer la décision jusqu'à trouver un consensus entre toutes les parties.



Titre qui résume le problème

Dernière modification : .. / .. / .. Auteurs : .... Approuvé par : ...... / ...... / ...... / ......

Historique et importance

Cette partie n'est à remplir que si le titre n'est pas assez explicite

Situation actuelle

Graphique, dessin, schéma, faits, chiffres qui illustrent clairement la situation actuelle et qui invitent à avoir une attitude critique sur la situation (aller sur le terrain)

Outils pour illuster cette partie :

Value Stream Map
Dessin
Diagramme de flux
Plan de situation
…

Cause racine

Quelles sont las causes racines du problème : aller sur le terrain, demander Pourquoi ?

Outils pour cette partie :

5 Pourquoi
Diagramme en arrête de poisson
Ou juste le questionnement

Buts et objectifs

Quelles sont les données de sortie qui sont souhaitées
1. Diminuer le délai de réparation
2. Diminuer la charge de travail secrétaire/chef de service

Situation souhaitée

Graphique, dessin, schéma, faits, chiffres qui illustrent clairement la situation souhaitée et la différence avec la situation actuelle

Outils pour illuster cette partie :

Value Stream Map
Dessin
Diagramme de flux
Plan de situation
…

Actions correctives

Liste des actions proposées pour chaque cause racine. Écrire toutes les idées, puis archiver celles qui n'ont pas eu l'assentiment de l'ensemble du groupe

Causes racines	Action corrective	Bénéfice	Qui	Quand

Validation des résultats

Objectifs	Résultats obtenus	Éval

Liste des enseignements apportés par cette action

Figure 12.14 – L'outil A3 Report

La figure 12.14 illustre l'outil A3 Report. Il sert de support visuel à la résolution de problème. Ce support doit être validé par toutes les parties concernées. Par rapport à la démarche 8D, deux éléments n'apparaissent pas explicitement : les actions de confinement et les actions de pérennisation. À noter qu'il existe de très nombreuses présentations du A3 Report plus ou moins complètes ; le formulaire 8D pouvant être un bon support d'un A3 Report.

6. TPM – *Total Productive Maintenance*

Le *Lean Management* cherche à éliminer les sources de pertes financières inutiles. À cette fin, il est impératif d'utiliser au maximum les capacités de l'ensemble des équipements de l'entreprise, trop souvent en arrêt à cause d'aléas. TPM est un processus qui maximise la productivité des équipements. Il crée un environnement dans lequel les efforts d'amélioration dans la fiabilité, la qualité, le coût et la créativité sont encouragés par la participation de tous les employés.

Les aléas étant souvent dus aux pannes des machines et aux problèmes de non-qualité, l'action à mener pour supprimer ces aléas concernera donc principalement la fonction maintenance et la fonction qualité. La norme NFE 60-182-2002 identifie différents types de temps sur un moyen de production (figure 12.15).

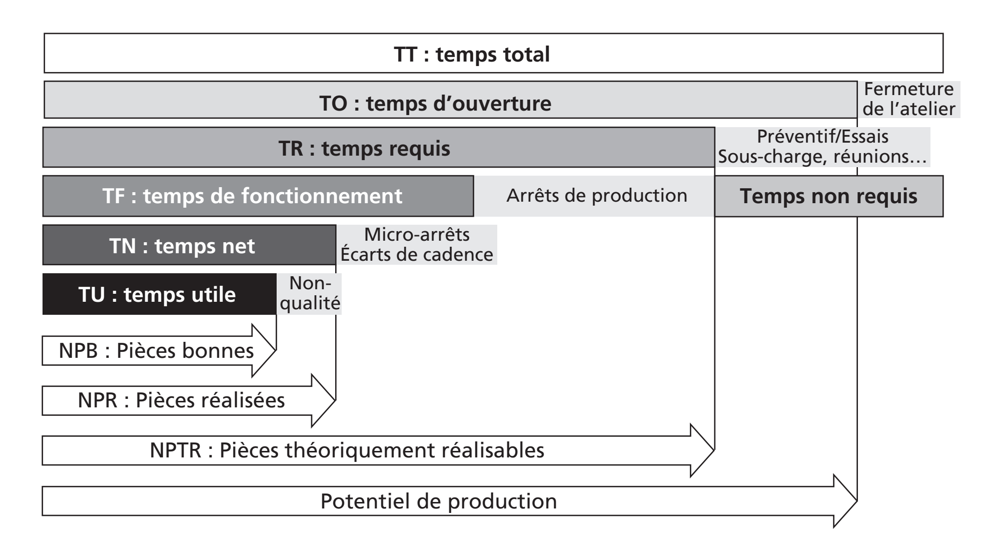


Figure 12.15 – Différents temps (norme NFE 60-182-2002)

6.1. TRS, TRG une mesure de la performance du poste de travail

Pour mesurer la performance du poste de travail, on dispose d'un indicateur très efficace : le TRS (taux de rendement synthétique). Cet indicateur établit le ratio entre le temps réellement utile d'utilisation d'un moyen de production et le temps utilisé (NFE 60-182 – 2002). Plusieurs formules permettent de calculer le TRS selon les données les plus facilement accessibles dans l'entreprise. La plus souvent utilisée est :

$$\text{TRS} = \frac{\text{Nombre de pièces fabriquées bonnes}}{\text{Temps requis} \times \text{cadence nominale}} = \frac{\text{Temps utile}}{\text{Temps requis}}$$

Le second indicateur couramment utilisé est le TRG (taux de rendement global) qui est encore plus exigeant que le TRS. On le calcule par la relation suivante :

$$\text{TRG} = \frac{\text{Nombre de pièces fabriquées bonnes}}{\text{Temps ouverture} \times \text{cadence nominale}} = \frac{\text{Temps utile}}{\text{Temps ouverture}}$$

Exemple de calcul :

- Un atelier a été ouvert en 16 heures par jour sur 5 jours dans la semaine (80 heures). Pour cause de sous-charge, de réunions programmées et d'essais préventifs, le poste a été ouvert 70 heures sur la semaine et a réalisé 555 pièces.
- Le temps gamme d'une pièce est de 612 DMH (dix millièmes d'heure).
- La cadence nominale = *1/0,0612 =16,34 pièces par heure.*

$$TRG = \frac{555}{80 \times 16{,}34} = 0{,}425 = 42{,}5\% \qquad TRS = \frac{555}{70 \times 16{,}34} = 0{,}485 = 48{,}5\%$$

Le TRG est un indicateur de productivité de l'organisation industrielle. C'est un indicateur économique qui intègre la charge effective d'un moyen de production.

Le TRS est un indicateur de productivité qui rend compte de l'utilisation effective d'un moyen de production.

Un TRS de 48,5% est extrêmement pénalisant pour la compétitivité des entreprises et traduit une forte déficience dans l'organisation. Lorsque l'on doit travailler sur une machine qui n'est pas très fiable, il faut prévoir une panne éventuelle. Le plus simple, dans ce cas, est de constituer un stock qui permettra de ne pas arrêter la production en aval en cas d'arrêt de la machine. De même, lorsqu'une production possède un taux de rebut, les ordres de fabrication tiennent compte de celui-ci, et sont donc légèrement gonflés par rapport aux besoins réels.

Les pannes, la non-qualité forment ce que l'on appelle les aléas de production. On vient de voir que les aléas de production génèrent des stocks, donc des délais excessifs, et il en résulte des surcoûts de production.

Il est donc indispensable de s'attaquer aux aléas de production afin de « fluidifier » l'écoulement des produits. La première étape consiste à déterminer quels sont les foyers de perte de rendement. À cet effet, on cherche à identifier toutes les causes d'arrêt, pour arriver au graphique de la figure 12.16 qui permettra de décider des actions d'amélioration les plus efficaces.

6.2. Diminution du taux de panne

Les pannes des machines augmentent avec la sophistication des matériels considérés. L'artisan n'utilisant que quelques outillages à main est relativement peu concerné par le problème des pannes. En revanche, une chaîne d'assemblage qui comporte de très nombreux systèmes sophistiqués pose souvent de gros problèmes de fiabilité.

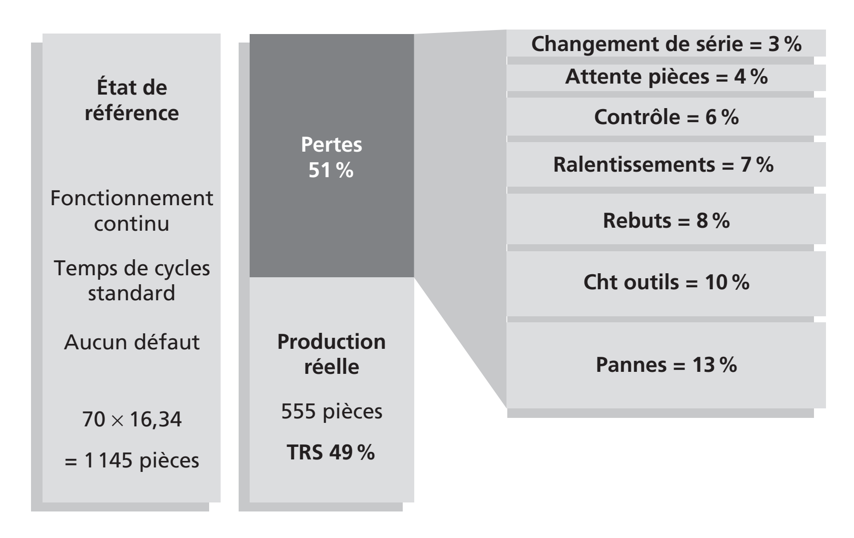


Figure 12.16 – Décomposition du TRS

En effet, même si le taux de fonctionnement de chaque système est voisin de 99%, il suffit souvent d'un système en panne pour bloquer l'ensemble de la ligne de production. Le taux de fonctionnement diminue alors de façon vertigineuse. Prenons par exemple vingt systèmes en série, le taux de fonctionnement devient alors :

$$0{,}99 \times 0{,}99 \times \ldots \times 0{,}99 = 0{,}99^{20} = 0{,}82 \;!$$

Ainsi, il n'est pas rare de voir des usines où le taux d'immobilisation moyen de l'ensemble des équipements est voisin de 50%, surtout dans les phases de démarrage. On imagine alors l'ensemble des gains de capacité que pourrait apporter une amélioration de ce taux.

Les deux causes principales d'un taux d'immobilisation important pour cause de pannes sont les suivantes :

- manque de fiabilité des machines (il s'exprime par une fréquence élevée de pannes) ;
- maintenabilité insuffisante (elle s'exprime par de longs délais d'arrêt de la production).

6.2.1. Le manque de fiabilité

Le manque de fiabilité est parfois dû à une mauvaise conception de la machine. Pour éviter de tels déboires, il convient de prendre un certain nombre de garanties dès l'investissement initial. Cependant, lorsque la machine est

achetée, il faudra améliorer ses points faibles, mettre en place des systèmes de régulation et de surveillance.

Le manque de fiabilité peut également être dû à la façon dont on utilise la machine. Est-elle adaptée au travail qu'on lui demande ? Est-elle adaptée au milieu dans lequel elle évolue ?

On peut citer, par exemple, les problèmes de fiabilité rencontrés lorsque l'on veut placer des ordinateurs dans les ateliers. Si l'on place un ordinateur de bureau en production, sans précaution, la probabilité d'avoir une panne est importante. Dès lors que l'on prend un minimum de précautions (utilisation d'une armoire réfrigérée ou utilisation d'un ordinateur adapté), la fiabilité augmente.

Le manque de fiabilité peut également provenir de la façon dont on entretient la machine. Dans un atelier très propre, les machines sont nettoyées, évitant ainsi les problèmes dus aux copeaux qui se coincent ou à la poussière qui rentre dans une règle. D'où l'intérêt des démarches 5S.

6.2.2. La maintenabilité insuffisante

La maintenance des machines est un point essentiel de la fiabilité. La première approche (peu recommandable) consiste à attendre la panne pour intervenir. Cette méthode a généralement pour conséquence, au mieux, un temps d'immobilisation important, et au pire, une sur-panne.

Exemple de sur-panne : un niveau d'huile n'est pas vérifié, entraînant la dégradation d'un roulement.

Il est donc souhaitable de mettre en place des stratégies de maintenance pour éviter ce type d'incident. Plusieurs stratégies sont possibles en fonction du type d'incidents redouté. Illustrons ces différentes stratégies pour la maintenance d'une automobile.

- Maintenance curative (accidentelle et trop courante) : hormis les graissages, elle consiste essentiellement à attendre la panne pour réparer.

  Exemples : on change l'embrayage lorsqu'il patine, on règle le moteur lorsqu'il ne démarre que difficilement…
- Maintenance préventive : elle consiste à effectuer des interventions en vue d'éviter les pannes. Elle peut se faire de façon **systématique** ou **prédictive** :
  – maintenance préventive systématique : elle consiste à changer des éléments et à remettre à neuf la machine. Ces interventions ont lieu après une période de fonctionnement (exemple : 6 mois), cette période étant déterminée d'après les statistiques des pannes antérieures.

Exemple : on change l'embrayage tous les 100000 km, le moteur est vérifié tous les 25000 km.

– maintenance préventive prédictive. On cherche par cette méthode à éviter les changements superflus de pièces. Il faut alors suivre de façon régulière l'équipement, afin d'identifier les dégradations et de prédire les interventions. Le suivi s'effectue par « auscultation de la machine » de type mesure des taux de vibration, des débits, des couples, etc.

Exemples : on mesure l'usure de l'embrayage par mesure de l'avance du système de rattrapage automatique ; on identifie le moment de faire la vidange en fonction du profil de conduite du conducteur (autoroute, ville, petits trajets…).

De ces deux types de maintenance, le préventif/ prédictif est souvent le plus économique. Cependant, il ne peut pas toujours être mis en œuvre et s'avère quelquefois plus onéreux que le préventif. Il faut donc considérer que les maintenances préventives et prédictives sont complémentaires, et qu'elles doivent être mises en œuvre dans le but de supprimer la maintenance curative.

6.3. Démarche TPM

L'objectif de la TPM sera d'améliorer les deux indicateurs TRS et TRG, en agissant sur toutes les sources identifiées de perte de productivité. Généralement, une démarche TPM consiste à déployer des actions autour des huit piliers que regroupent deux fonctions.

Fonction 1 : améliorer la performance du système de production

- Pilier 1 : Gestion autonome des équipements.
- Pilier 2 : Amélioration au cas par cas.
- Pilier 3 : Maintenance planifiée.
- Pilier 4 : Amélioration des connaissances et du savoir-faire.

Fonction 2 : obtenir les conditions idéales

- Pilier 5 : Maîtrise de la conception des produits et des équipements.
- Pilier 6 : Maîtrise de la qualité.
- Pilier 7 : Sécurité, condition de travail et environnement.
- Pilier 8 : TPM des services fonctionnels.

La première fonction vise à améliorer l'existant sur les moyens présents dans le système de production.

Une action de maintenance ne peut pas se faire sans une implication de l'opérateur de production qui est le mieux adapté à détecter au plus tôt les anomalies. Il faudra donc respecter les conditions de base de l'équipement, et mettre en place une maintenance simple (dite de premier niveau) réalisée directement par l'opérateur du moyen de production. C'est le **premier pilier**, l'opérateur doit être responsable du maintien de la qualité de son équipement. Ce premier pilier est idéalement supporté par une démarche 5S.

Après avoir mesuré les sources de pertes de productivité par la mesure et l'analyse du TRG et du TRS, il faut éliminer au cas par cas chacune de ces sources. C'est le **deuxième pilier**.

Afin de prévenir toutes défaillances naturelles dues à l'usure normale du moyen, on doit mettre en place une maintenance planifiée, ce sera le **troisième pilier**.

Enfin, l'ensemble des connaissances et des bonnes pratiques apprises lors des trois premiers piliers doivent être capitalisées au travers de nouveaux standards, c'est l'objet du **quatrième pilier**.

La seconde fonction vise à mettre en place les éléments qui permettront d'avoir des conditions initiales idéales sur les nouveaux équipements.

Pour cela, il faut que les nouveaux équipements soient conçus dans un souci de fiabilité mais aussi pour en faciliter la maintenance, l'utilisation. C'est le rôle du **cinquième pilier**.

Le **sixième pilier** consiste à obtenir une meilleure maîtrise du processus pour maintenir à un haut niveau les indicateurs TRS et TRG en éliminant les sources de variabilité sur les 5M (Moyens, Méthodes, Milieu, Main-d'œuvre et Matière).

Il est plus facile d'obtenir de bons résultats lorsque les conditions de travail sont moins stressantes (moins pénibles, moins salissantes, moins dangereuses plus respectueuses de l'environnement). Développer cet axe fera l'objet du **septième pilier**.

Enfin, l'ensemble de la démarche ne doit pas se limiter aux moyens de production mais également dans les services fonctionnels, c'est l'objet du **huitième pilier**.

L'approche TPM implique un travail important de formation et de sensibilisation des opérateurs qu'il ne faut pas négliger, et qui peut être source de beaucoup d'améliorations au sein des ateliers et de la production.

7. La maîtrise de la qualité des processus

Le bon sens suffit pour comprendre qu'un produit de qualité apporte un gain considérable de compétitivité. La qualité permet de fidéliser une clientèle, de diminuer les coûts de production, en supprimant les dépenses supplémentaires occasionnées par la non-qualité. Elle réduit les coûts de garantie et de service après-vente. Les problèmes de non-qualité sont également sources d'aléas de production :

- stockages excessifs pour parer à un éventuel défaut ;
- retard de livraison à cause d'un lot à trier ;
- démontage de produits finis en cas de détection tardive de défaut…

La maîtrise de la qualité des processus est un élément essentiel qui s'appuie sur des aspects statique et dynamique :

- un aspect statique qui consiste à formaliser la connaissance et les méthodes de pilotage des processus ;
- un aspect dynamique qui consiste à mettre en œuvre des démarches d'amélioration continue ou par percée.

7.1. Aspect statique de la maîtrise des processus

L'aspect statique concerne l'ensemble des règles permettant de formaliser le savoir-faire. Les principaux composants de l'aspect statique seront :

- la capitalisation du savoir-faire au travers de documentations et de règles de pilotage ;
- la standardisation de tous les processus répétitifs ;
- l'utilisation de la maîtrise statistique des processus qui est le seul outil permettant de garantir la stabilité du processus[1].

7.1.1. La capitalisation du savoir-faire

Une des questions que l'on doit se poser devant un poste de travail est la suivante : quelles sont les choses importantes à mémoriser de ce poste de travail pour garantir la qualité de la production ? Cette capitalisation doit concerner le séquencement des opérations nécessaires, mais aussi les règles de réaction face aux problèmes. En général, cette capitalisation est réalisée au

1. Voir *Appliquer la maîtrise statistique des procédés* MSP/SPC, Maurice Pillet, Éditions d'Organisation, 3e édition, 2001.

travers de documents disponibles sur le poste de travail. Ces documents ne sont pas exhaustifs, ils visent à assurer la continuité du savoir-faire dans quatre situations principales :

- l'arrivée d'un nouveau collaborateur ;
- la reprise d'une tâche après un temps d'arrêt important ;
- l'audit pour garantir que le processus ne dérive pas ;
- la mémorisation des différentes évolutions des standards.

7.1.2. La standardisation

Nous avons souligné dans le chapitre précédent l'importance du standard dans le *Lean Manufacturing*. Tout ce qui permet la flexibilité est bon. On doit privilégier la rotation du personnel dans tout l'atelier. Il doit y avoir une standardisation de tous les processus répétitifs. Le standard doit être la règle, il doit être publié. Par exemple, le traitement des produits non conformes doit être identique sur tous les postes de travail, la couleur rouge est réservée aux contenants destinés à recevoir des produits non conformes. Cette standardisation n'empêche pas l'amélioration pour autant, mais évite de très nombreuses erreurs. Elle doit concerner aussi bien les procédures que les systèmes physiques.

7.1.3. La maîtrise statistique des procédés (MSP)

La maîtrise statistique des procédés permet de garantir la stabilité des processus. En faisant la dissociation entre les variations aléatoires du processus dont les origines multiples sont appelées « causes communes » et les variations qui méritent une intervention sur le processus dont l'origine est appelée « cause spéciale », la MSP est sans équivalent pour l'aide au pilotage des moyens de production. Les deux éléments de base de la MSP sont :

- l'étude des *capabilités*, qui permet de caractériser l'adéquation entre la dispersion du procédé et les spécifications de la caractéristique ;
- les cartes de contrôle, qui sont des outils graphiques permettant de décider si le procédé nécessite ou non une intervention.

7.2. Aspect dynamique de la maîtrise des processus

Limiter la maîtrise des processus au seul aspect statique serait contraire à la règle de l'amélioration permanente des procédés. Aussi, doit-on mettre en place une dynamique de progrès permettant de faire progresser le poste de travail, les procédures de pilotage et de suivi, d'enrichir la capitalisation des connaissances et de faire évoluer les standards de l'entreprise. Cet aspect dynamique doit être

organisé selon les deux axes que nous avons développé au paragraphe 5 de ce chapitre, l'amélioration continue et l'amélioration par percée.

L'amélioration continue étant supportée par les actions immédiates et les actions structurées locales (8D, A3 Report). Les actions de rupture nécessitant un niveau d'analyse approfondie seront, elles, gérées par une démarche plus adaptée telle que Six Sigma, et conduites par un expert en résolution de problèmes : le *Black Belt*.

8. Relations avec les fournisseurs et les sous-traitants

8.1. Les problèmes

Une entreprise possède généralement un grand nombre de fournisseurs. Les relations entre clients et fournisseurs ne sont pas toujours des relations de confiance, mais plutôt de méfiance. D'un côté, l'entreprise cherche à avoir de nombreux fournisseurs pour obtenir, par le biais de la concurrence, des prix les plus bas possible et, en cas d'incident, une sûreté de livraison des produits. De l'autre côté, le fournisseur, qui n'est jamais sûr d'avoir des commandes régulières de la part de son client, hésite à investir pour une amélioration de la qualité d'un produit particulier.

- Les relations « classiques » fournisseurs-clients, entraînent souvent des problèmes de qualité : ces problèmes sont souvent réglés par un important contrôle de réception. Les pièces qui arrivent du sous-traitant sont stockées, contrôlées par échantillonnage, puis stockées à nouveau. Il faut donc souvent plusieurs jours pour que les pièces soient disponibles.
- Les délais sont longs : lorsque les fournisseurs sont éloignés de l'entreprise, les livraisons des pièces sont souvent espacées afin de minimiser les frais de transport. Et pour ne pas être en rupture de stock, l'entreprise prend un stock de sécurité d'autant plus important que la fréquence des livraisons est faible.
- Les stocks sont gonflés : problèmes de qualité, délais importants, stocks gonflés, on voit à nouveau apparaître les dysfonctionnements classiques de production. Il faut donc établir de nouvelles relations avec les fournisseurs.

8.2. Les nouvelles relations avec les fournisseurs

Pour éviter les problèmes énumérés ci-dessus, il est indispensable que l'entreprise établisse de nouveaux rapports avec ses fournisseurs. Ces nouvelles relations vont impliquer directement les fonctions achat, réception et gestion de la production.

8.2.1. Créer des relations privilégiées avec certains fournisseurs

Toute entreprise souhaite que les composants livrés par ses fournisseurs soient conformes au cahier des charges, avant de les introduire dans sa fabrication. Si elle désire se débarrasser des coûteux contrôles de réception, il faut qu'elle travaille en « assurance qualité » avec ses fournisseurs.

Le processus mis en œuvre pour la réalisation d'un produit doit garantir sa qualité. Ceci ne peut être fait que par l'élaboration d'une procédure de mise sous contrôle de la fabrication. Le fournisseur du composant ne peut mettre en place ces méthodes que s'il a la garantie d'avoir à fabriquer des pièces pendant une durée suffisamment longue.

L'entreprise devra donc créer des relations privilégiées avec certains fournisseurs, qui devront en échange garantir une qualité sur les produits fournis.

8.2.2. Accroître la fréquence des livraisons

Pour diminuer les stocks de sécurité, il est indispensable d'accroître la fréquence des livraisons. Cette méthode est théoriquement facile à mettre en œuvre lorsque les fournisseurs ne sont pas trop éloignés de l'entreprise. Pourtant, elle se heurte à un problème important : l'augmentation de la fréquence des livraisons amène le fournisseur à livrer des quantités de produit plus faibles. Si celui-ci continue à fabriquer par séries importantes, ce nouveau rapport client-fournisseur va conduire à un stockage reporté chez le fournisseur. Le problème n'est donc pas réglé, mais déplacé.

Il faut donc que les efforts de l'entreprise pour une réduction de la taille des lots se traduisent par le même effort chez le fournisseur, et ainsi de suite dans toute la chaîne…

Accroître la fréquence des livraisons ne doit pas se faire au détriment du coût des pièces. Il faudra donc probablement revoir toute la logistique de transport afin de créer des « tournées » optimisées de ramassage de pièces, ainsi que des lieux de concentration dans le cas où plusieurs fournisseurs d'une même région seraient éloignés de l'entreprise (voir le chapitre 8 : Chaîne logistique globale).

8.2.3. Intéresser le fournisseur à la marche de l'entreprise

Le fournisseur doit se sentir concerné par le fonctionnement de l'entreprise cliente. Une bonne méthode consiste à organiser des journées fournisseurs pendant lesquelles seront rendus publics les objectifs de la société.

8.2.4. Travailler en commandes ouvertes

Lorsque de nouvelles relations sont établies entre fournisseurs et demandeurs, le principe de la commande ouverte peut être mis en œuvre. Cela consiste pour le donneur d'ordre à ne plus passer par le service achat à chaque commande, mais à considérer le sous-traitant comme un élément de sa propre entreprise. Dans une enveloppe convenue par contrat et avec des prévisions de quelques semaines, ce sont directement des confirmations de livraisons fermes qui sont envoyées au sous-traitant (le total des commandes est réalisé en fin d'exercice). Cette méthode permet au sous-traitant d'avoir accès aux prévisions des ventes de son donneur d'ordre, et ainsi de mieux ajuster ses plannings de production. Le circuit administratif est plus court, ce qui améliore encore les délais.

Beaucoup d'entreprises n'ont pas encore compris l'enjeu d'un vrai partenariat avec leurs fournisseurs, en particulier avec les fournisseurs de pièces stratégiques, et c'est vraiment dommage. Si l'on travaille main dans la main avec son fournisseur, on travaille directement pour soi…

Beaucoup d'expériences ont lieu depuis peu, liées au développement des nouveaux systèmes de communication. Plus spécifiquement, des achats réalisés grâce au système des enchères où chaque fournisseur a un temps très court pour se montrer le plus performant sur la réalisation d'un composant ou d'un sous-ensemble particulier. Ce système conduit à choisir le fournisseur, souvent inconnu de l'entreprise, qui prétend proposer le meilleur package prix-délai-performance technique-qualité… Est-ce la réalité ? Pas toujours ! L'entreprise est souvent déçue des conséquences !

Rien ne vaut, surtout pour les composants stratégiques, un vrai partenariat avec les fournisseurs, dans lequel l'échange véritable s'établit sur du long terme et sur des relations solides.

Chapitre 13

Le pilotage d'atelier en flux tirés par la méthode Kanban

1. Introduction

Comme indiqué dans le chapitre 11, parmi les différents outils du *Lean Manufacturing*, le Kanban prend une place particulière par le compromis idéal qu'il offre en termes de simplicité de son concept et d'efficacité. Cependant, malgré cette simplicité, il requiert un certain nombre de conditions pour être mis en place efficacement.

Mais, contrairement à ce qui est souvent dit, le Kanban ne se réduit pas à un simple outil du *Lean Manufacturing*. Il encourage le réengineering industriel, tel que les implantations en cellules de production et une nouvelle gestion des ressources humaines, où les personnes, travaillant dans la cellule, sont encouragées à participer efficacement à l'amélioration continue des processus dans l'esprit du Kaïzen.

« Kanban », au départ, est un mot japonais du vocabulaire courant qui signifie « étiquette », « enseigne ». La méthode Kanban, quant à elle, a, au départ, fonctionné sur la circulation d'étiquettes.

Elle s'est développée au Japon après la Seconde Guerre mondiale. Elle a été élaborée dans l'entreprise Toyota Motor Company et dès 1958, certaines lignes de production de Toyota MC ont parfaitement bien fonctionné en Kanban.

À cette époque-là, M. OHNO (P-DG de Toyota) constate que « les gens des usines ont toujours tendance à faire de la surproduction », et il cherche alors le moyen qui permet de produire :

- le produit demandé, et pas un autre ;
- au moment où il est demandé (ni avant, ni après) ;
- dans la quantité demandée (ni plus ni moins).

Dans un atelier de production, cela se traduit par le fait qu'un poste amont ne doit produire que ce qui lui est demandé par son poste aval, qui ne doit lui-même produire que ce qui lui est demandé par son propre poste aval, et ainsi de suite… Le poste le plus en aval ne devant produire que pour répondre à la demande des clients.

Il fallait donc trouver *un système d'information* qui fasse remonter rapidement les besoins de l'aval vers l'amont. Ce système existe et porte le nom de *méthode Kanban*.

Comme nous le montrerons par la suite, le Kanban est avant tout un système d'information et une méthode d'organisation et de gestion de l'atelier qui n'intègre en aucun cas des éléments de gestion industrielle globale, comme la planification par exemple.

On trouve un système relativement similaire en Europe dans les pharmacies pour permettre le recomplètement des stocks. Sur chaque boîte de médicament, on place une petite étiquette. Chaque fois qu'une boîte est vendue on place l'étiquette dans un récipient, et deux fois dans la journée, il suffit de passer une commande à la plate-forme de réapprovisionnement en fonction du nombre d'étiquettes collectées pendant la demi-journée pour recompléter le stock. Lorsque la commande arrive, on place à nouveau l'étiquette sur la boîte. C'est un peu le principe sur lequel repose le Kanban.

Nous allons décrire dans ce chapitre les trois principaux types de Kanban que l'on rencontre industriellement : La Kanban spécifique, le CONWIP et le Kanban générique.

2. LA MÉTHODE DU KANBAN SPÉCIFIQUE

Elle consiste en un mode de gestion à point de la commande, où l'on cherche à minimiser les stocks et à réapprovisionner le stock en fonction des besoins du client interne ou externe. Elle est excessivement simple aussi bien de fonctionnement que de compréhension, mais il ne faudra pas se méprendre : les conditions de réussite de la mise en œuvre du Kanban spécifique comme du Kanban générique sont nombreuses et difficiles.

2.1. Description d'un système Kanban spécifique

Supposons un atelier de production où les postes de travail sont positionnés les uns à la suite des autres, et où le flux de production circule de gauche à droite en passant sur un poste puis sur l'autre… (figure 13.1)

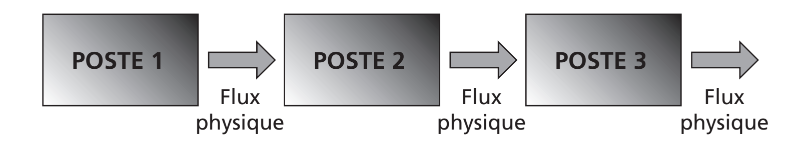


Figure 13.1 – Ligne de production

On peut dire de manière simple que la méthode Kanban spécifique va consister à superposer au flux physique de produits, un flux inverse d'informations (figure 13.2).

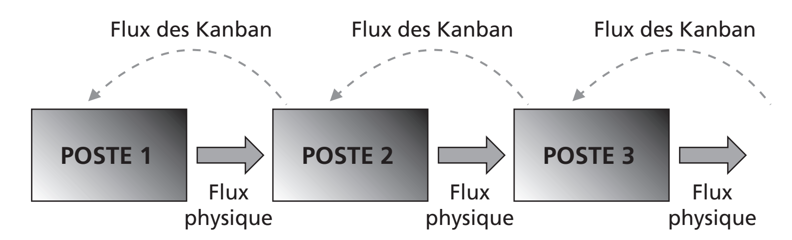


Figure 13.2 – Flux des Kanban

Dans le détail, si l'on observe ce qui se passe entre deux postes de travail consécutifs, on peut observer la situation illustrée sur la figure 13.3.

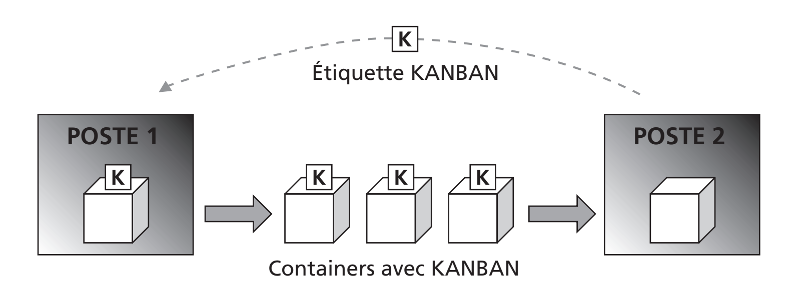


Figure 13.3 – Circulation des étiquettes Kanban

Le poste n° 2 consomme des pièces usinées par le poste n° 1. Chaque fois qu'il utilise un container de pièces, il détache de celui-ci une étiquette appelée

« Kanban » qu'il renvoie au poste n°1. Cette étiquette constitue pour le poste n°1 un ordre de fabrication d'un container de pièces.

Quand le poste n°1 a terminé la fabrication du container, il attache à celui-ci le Kanban. Le container est alors acheminé vers le poste n°2.

Entre deux postes de travail, circule un nombre défini de Kanban (donc de containers).

Les Kanban sont donc :

- soit attachés à des containers en attente d'utilisation devant le poste n°2 ;
- soit sur un planning Kanban au poste n°1 en attente d'usinage de pièces.

S'il n'y a pas de Kanban sur le planning du poste n°1, cela signifie que tous les Kanban sont attachés à des containers en attente de consommation devant le poste n°2. Le poste n°2 est donc très bien approvisionné et le poste n°1 ne doit pas produire !

La règle de gestion au niveau d'un poste est donc simple : il y a des étiquettes Kanban sur le planning de mon poste, je produis ; il n'y en a pas, **je ne dois pas produire !**

Les mises en fabrication de l'amont sont donc directement pilotées par les besoins de l'aval : on fonctionne en flux tiré.

Le système que nous venons de décrire se reproduit entre tous les postes d'un même atelier, pris deux à deux. Un Kanban particulier ne circule qu'entre deux postes de travail. Il apparaît donc sur le Kanban l'adresse du poste amont et l'adresse du poste aval entre lesquels il circule.

2.2. La gestion des priorités en Kanban spécifique

On peut remarquer qu'un poste amont fournisseur réalise la plupart du temps plusieurs types de produits pour le ou les postes avals clients. On dit en général que pour qu'un Kanban spécifique puisse fonctionner correctement, il ne doit pas être construit sur plus de **dix références différentes d'articles** sinon le système devient ingérable, à la fois en termes de priorités et de stocks.

Si l'on souhaite mettre en Kanban spécifique ce type de situation, il faut commencer par standardiser les produits qui passent entre le fournisseur et le client (travail avec le bureau d'études) et descendre à moins de dix articles différents. Sinon, on pourra appliquer la méthode du Kanban générique dont on parlera au paragraphe 3.

Si, pour différentes raisons, on n'y parvient pas, le Kanban spécifique ne peut pas être appliqué, il est préférable d'utiliser d'autres systèmes de gestion de la ligne de production : le Kanban générique ou un système d'ordres de fabrication.

Dans la situation où l'on peut appliquer le Kanban spécifique, pour que le poste fournisseur puisse répondre correctement aux besoins de son ou ses clients, il devra gérer correctement ses priorités entre les différents articles à produire.

Cela correspond à la situation où le planning Kanban d'un poste de travail comporte plusieurs types de Kanban, chaque type de Kanban correspondant à chaque référence articles. Le principal problème de l'opérateur consiste à choisir le type de pièces à fabriquer en priorité.

Supposons qu'un poste de travail fabrique trois types de pièce :

- Référence A : 8 Kanban en circulation.
- Référence B : 5 Kanban en circulation.
- Référence C : 3 Kanban en circulation.

Cas n° 1 : il n'y a aucun Kanban sur le planning ; l'opérateur du poste ne doit donc pas produire !

Cas n° 2 : le planning Kanban a la physionomie de la figure 13.4.

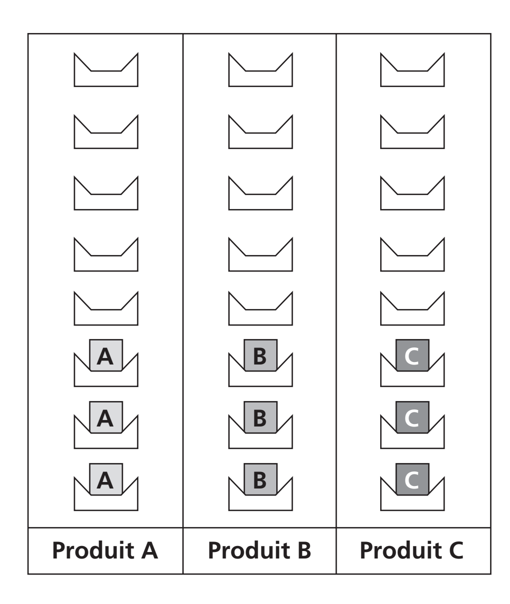


Figure 13.4 – Planning sans priorité

Sachant que pour la pièce A, on a 8 Kanban en circulation et que l'on en a 3 sur le planning, il y a donc 5 containers de pièces A stockées.

De même, on a 5 – 3 = 2 containers de pièces B stockées et 3 – 3 = 0 container de pièces C stockées.

Il est donc urgent de lancer la fabrication des pièces de référence C puisque l'on est en rupture sur ce produit.

On tiendra ce raisonnement chaque fois que l'on voudra usiner un container de pièces, et l'on choisira de lancer la production des pièces dont la quantité stockée est la plus faible. Mais, attention, cette démarche n'est possible que si le temps de changement de série sur le poste fournisseur est très court. Sinon, les temps de réglage vont terriblement perturber la production, on ne produira plus des pièces mais des réglages ! Si le temps de réglage est important sur le poste fournisseur, on choisira de produire par lot de 2 ou 3 ou davantage de Kanban, ce qui posera évidemment des problèmes de réactivité mais permettra de « rentabiliser » les réglages ! Cela correspond à la notion de taille de lot minimale telle qu'on peut l'observer en gestion des stocks traditionnelle. On va donc produire dans cette situation un nombre minimal de pièces correspondant à un nombre minimal d'étiquettes Kanban qui sera décidé dès le lancement de la méthode.

Pour que l'opérateur puisse tenir ce type de raisonnement, il est nécessaire de faire apparaître sur le planning un index : indicateur matérialisant le total de chaque type de Kanban (figure 13.5).

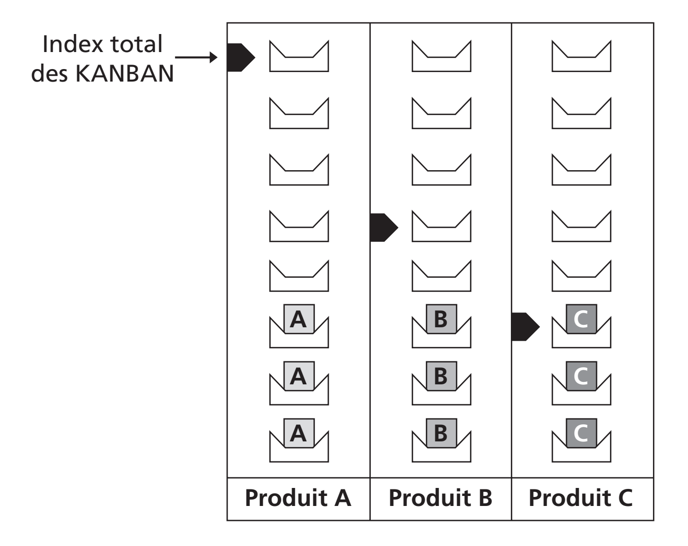


Figure 13.5 – Planning avec priorité déterminée par l'index total des Kanban

Afin d'éviter des ruptures au niveau du flux de production (en cas de panne par exemple), on peut décider de conserver un stock minimal de containers de pièces correspondant à la notion de stock de sécurité. On utilisera alors un second index qui définit une zone d'alerte au-delà de laquelle il faut lancer la production. Le principe de fonctionnement de ce système est le même que celui décrit précédemment, mais en utilisant les index d'alerte au lieu des index totaux des Kanban pour définir la gestion des priorités (figure 13.6).

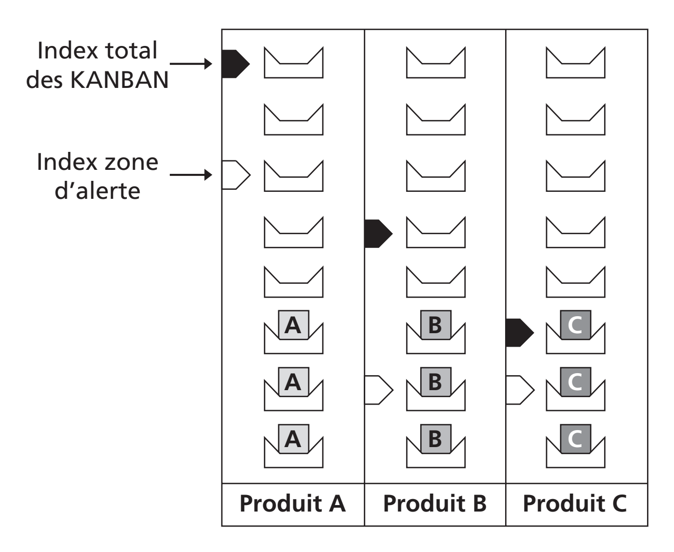


Figure 13.6 – Planning avec priorité déterminée par les deux index : total des Kanban et zone d'alerte

La zone de sécurité sera là pour absorber les aléas divers qui peuvent se produire sur les postes de travail.

Dans notre exemple, cela donne :

- Stock de sécurité de A = 2 containers.
- Stock de sécurité de B = 3 containers.
- Stock de sécurité de C = 1 container.

On choisira dans notre exemple de lancer la production des pièces dont la colonne de Kanban est la plus proche de l'index zone d'alerte, c'est-à-dire C.

Le système Kanban se rapproche donc de la méthode de gestion des stocks à point de la commande. La différence réside surtout dans le délai de production matérialisé par l'index d'alerte. Dans une situation traditionnelle à point de la commande, celui-ci représente souvent plusieurs semaines de production. En Kanban, l'index d'alerte ne représente que quelques heures.

2.3. Caractéristiques des étiquettes Kanban spécifiques

Le Kanban est l'étiquette qui est attachée à un container. Il se présente généralement sous une forme géométrique en carton plastifié, en plastique, en métal ou autre, de petite taille. Un certain nombre d'informations sont précisées sur un Kanban.

Ces informations varient beaucoup selon les entreprises, mais il existe des informations indispensables minimales que l'on retrouve sur tous les Kanban :

- la référence de la pièce fabriquée ;
- la capacité du container, donc la quantité à produire ;
- l'adresse ou référence du poste amont fournisseur ;
- l'adresse ou référence du poste aval client.

Mais il existe aujourd'hui de nombreuses entreprises ayant des lignes de production appliquant les principes du Kanban sans étiquette.

2.4. Du Kanban spécifique à étiquettes au Kanban spécifique à emplacements et au système à deux casiers

De nombreuses entreprises font preuve de beaucoup d'imagination et d'originalité en matière de création de lignes Kanban spécifique. Une entreprise, par exemple, a remplacé les étiquettes Kanban par des balles de tennis de table colorées qui sont renvoyées très rapidement du poste client au poste fournisseur par des tuyaux à air comprimé. La couleur de la balle représente la référence ainsi que le nombre de pièces à fabriquer. La gestion des priorités est extrêmement simple : première balle arrivée, première balle traitée. C'est possible car l'entreprise a des temps de réglage extrêmement courts. On peut donc passer d'une couleur à l'autre donc d'une référence de pièces à l'autre sans difficulté.

2.4.1. Le Kanban spécifique à emplacements

L'une des variantes les plus intéressantes se situe au niveau du Kanban spécifique par emplacements. Cela consiste à remplacer les étiquettes Kanban par des emplacements matérialisés au sol, ou sur des étagères, situés géographiquement entre le poste fournisseur et son ou ses clients. Un emplacement accueille un container ou une caisse de produits. Le nombre d'emplacements de chaque type est déterminé par le fonctionnement du système (paragraphe 2.5). Si un ou plusieurs emplacements est ou sont vides, le fournisseur doit produire. Si tous les emplacements sont pleins, le fournisseur ne doit pas produire.

Ce système présente des avantages :

- il est très visuel, que l'on soit fournisseur ou client, il suffit de jeter un œil au niveau des emplacements pour savoir où on en est ;
- il n'y a pas de manipulations d'étiquettes (puisqu'il n'y en a pas), on ne risque donc pas d'oublier de les retourner à son fournisseur. On ne risque pas non plus de les perdre, ce qui arrive souvent dans les entreprises.

La figure 13.7 nous montre un exemple d'application de ce principe.

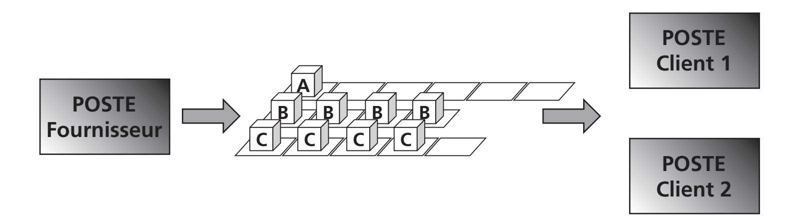


Figure 13.7 – Exemple de Kanban à emplacements

Dans l'exemple de la figure 13.7, le poste fournisseur réalise trois références de produits A, B, et C pour ses deux clients internes.

Les emplacements sont matérialisés physiquement entre le poste fournisseur et les postes clients. Il suffit de regarder les stocks pour observer :

- qu'un seul container de produits A est disponible et que 5 emplacements sont vides ;
- que tous les emplacements de produits B sont pleins ;
- qu'un seul emplacement de produits C est vide.

La priorité de production se situe donc au niveau du produit A.

Si l'on observe un peu mieux la figure 13.7, on s'aperçoit que les emplacements vides se situent à proximité des postes clients. En effet, pour des raisons de recherche de déplacement minimal, les clients ont tendance à utiliser les containers de pièces les plus proches d'eux, et les fournisseurs viennent positionner leurs productions au niveau de ces mêmes emplacements. Ce n'est donc pas du tout une logique de type FIFO (*First In First Out* : premier arrivé, premier utilisé) mais plutôt LIFO (*Last In First Out* : dernier arrivé, premier utilisé), ce qui signifie que les containers situés à proximité des postes fournisseurs, qui sont en général des stocks de sécurité, ne sont que peu ou pas utilisés. Cela peut se révéler problématique s'il s'agit de produits périssables, à corrosion rapide…

Pour pallier ce type de problèmes, il convient de réfléchir à des systèmes de plans inclinés munis de « rouleaux » de déplacements qui permettent aux containers de rouler jusqu'au point le plus proche des postes clients.

Pour des produits plus légers, le stockage peut se faire sur des stockeurs dynamiques, étagères en plan incliné sur lesquelles glissent les containers jusqu'au point d'utilisation ce qui permet simplement une gestion FIFO (voir chapitre 3, figure 3.22).

On remarquera que le Kanban spécifique par emplacement n'est pas aussi souple et flexible que le Kanban par étiquette. En effet, si la consommation varie, il est plus facile de changer le nombre d'étiquettes en circulation que de modifier le nombre d'emplacements.

2.4.2. Le système à deux casiers ou à deux bacs

Ce système est souvent utilisé dans des logiques de réapprovisionnement au point d'utilisation de postes de production pour des pièces peu chères et à consommation à faible volume.

Ce système consiste à stocker devant un poste, deux casiers identiques d'une même référence de pièces contenant le même nombre de pièces. Les deux casiers sont empilés l'un sur l'autre et les utilisateurs (opérateurs) n'ont accès qu'au premier casier (casier supérieur) qu'ils vont utiliser jusqu'à ce qu'il soit vide.

Lorsque le bac est vide, on le positionne à l'arrière du bac restant sur l'étagère sur laquelle il est situé, ce qui matérialise pour le magasinier qui réapprovisionne régulièrement les stocks dans les ateliers (2 fois par jour, 1 fois par jour, 1 fois par équipe…) un besoin de réapprovisionnement d'un bac. Pendant ce temps-là, l'opérateur va consommer les pièces du second bac. La quantité contenue dans un bac est donc calculée de façon à assurer la continuité de la production pendant le délai de réapprovisionnement. Elle intègre également une quantité de sécurité.

Au moment de l'arrivée du premier bac qui a été recomplété, le magasinier va le positionner sous le second bac pour que l'opérateur continue de consommer des pièces de celui-ci. On cherche ainsi à ne pas avoir deux bacs entamés en même temps, ce qui poserait des problèmes de ruptures au moment des réapprovisionnements.

Puis on recommence et ainsi de suite… la figure 13.8 nous montre le fonctionnement de ce système à deux bacs ou à deux casiers.

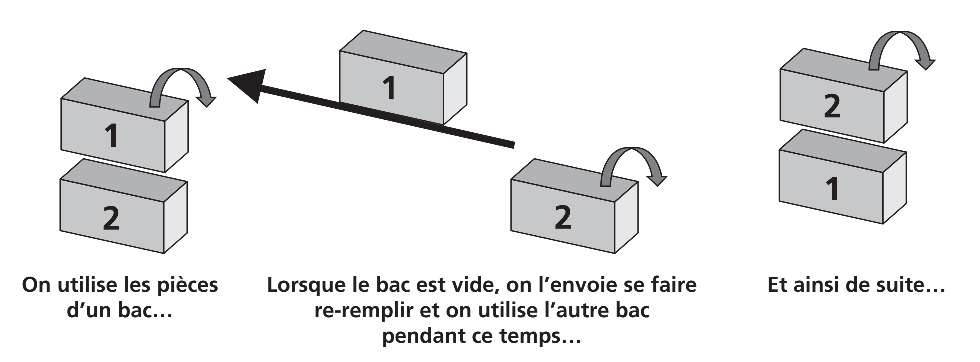


Figure 13.8 – Fonctionnement du système à deux bacs

Ce système est d'une très grande simplicité de fonctionnement. Il est très visuel. Il est une très bonne solution pour gérer des pièces de faible coût.

2.5. Dimensionnement d'un système Kanban

2.5.1. À propos de la taille d'un container

Chaque container d'un même type de produits doit contenir le même nombre de produits conformes.

Pour déterminer la taille d'un container, il faut tout d'abord tenir compte des caractéristiques du produit (poids, volume…). Par ailleurs, la taille doit permettre d'assurer la fluidité de la production. On tient compte du délai de production et du délai de consommation des produits. On a coutume de dire que, dans un container, on doit trouver un nombre de pièces représentant moins d'un dixième de la consommation journalière pour assurer une fluidité minimale.

Mais cette règle n'est pas obligatoire et ne s'adapte pas à toutes les situations. Il convient donc de tâtonner quelque temps, d'observer le fonctionnement du système dans différentes situations avant d'arrêter une décision. On peut remarquer que cette décision ne sera que temporaire puisqu'un système Kanban se doit d'être évolutif, d'être amélioré en permanence. Les améliorations apportées permettent au système d'être plus réactif et flexible, et cela donne la possibilité de diminuer la taille des containers au fur et à mesure des améliorations. L'objectif est de parvenir à la situation optimale, ce que les Anglo-Saxons appellent le système *One piece flow*, qui se traduit par « Une seule pièce dans le container ». Mais pour y parvenir, on a besoin de fiabiliser presque totalement le système de fabrication ce qui n'est pas facile !

2.5.2. À propos du nombre de Kanban

Les entreprises procèdent en général empiriquement, pas-à-pas, en mettant beaucoup de Kanban au début puis en diminuant, petit à petit, le nombre au fur et à mesure des démarches d'amélioration.

Pour déterminer le nombre de Kanban, il n'existe pas de formule magique !

Le nombre de Kanban doit tout de même permettre de couvrir les aléas existant dans le système au moment où l'on met en place la méthode (réglages, pannes, non-qualité…), sinon le flux va casser en permanence et on ne produira que peu de pièces.

Le nombre de Kanban peut néanmoins être calculé grâce à la formule suivante :

$$N = \frac{D.L + G}{C}$$

où :

- D, représente la consommation moyenne de produits par les clients par unité de temps ;
- L, le délai de mise à disposition des produits ;
- G, le facteur de gestion : facteur de couverture contre les aléas et les changements de série ;
- C, le nombre de pièces contenues dans un container.

Exemple :

Imaginons un poste de production fournisseur fonctionnant en Kanban avec des postes clients pour lesquels il réalise des produits de deux types, A et B.

Le poste fournisseur produit 50 produits de type A ou 100 produits de type B à chaque heure de production, ce qui correspond aux besoins des clients.
(D = 50 pour A et 100 pour B, L = 1).

Il a besoin de deux heures à chaque réglage. Il peut tomber en panne et cela nécessite en moyenne une heure de remise en route à chaque fois (G = 150 pour A et 300 pour B).

Les containers des produits A et B sont de 100 pièces.

Nombre de Kanban pour A = [(50 × 1) + (100 + 50)]/100 = 2

Le facteur de gestion G sera égal à 100 + 50 car on aura besoin de 100 pièces pour continuer de produire sur les postes client pendant que le poste fournisseur effectue un réglage, et de la même manière, on aura besoin de 50 pièces supplémentaires pour absorber les arrêts liés au temps de remise en route après une panne.

Nombre de Kanban pour B = [(100 × 1) + (200 + 100)]/100 = 4

Une autre formule, plus complète, pour calculer le nombre de Kanban est proposée par Étienne LEFUR[1] :

$$N = \text{Partie entière}\left(\frac{d.(Tr + Ta + Tcs + Tp + Tt) + Q + SS}{q}\right) + 1$$

Avec les paramètres suivants :

- p : cadence de production du poste amont (quantités par unités de temps) ;
- d : cadence de consommation (demande) du poste aval (quantités par unités de temps) ;
- q : capacité d'un conteneur ;
- Tr : temps de recyclage d'un Kanban depuis le poste aval vers le poste amont ;
- Ta : temps d'attente moyen des étiquettes sur le planning Kanban ;
- Tcs : temps de changement de série ;
- Tt : temps de transport du conteneur depuis le poste amont vers le poste aval ;
- Tp : temps de production d'un conteneur au poste amont (Tp = q/p) ;
- Q : quantité « économique » de production après chaque changement de série ;
- SS : stock de sécurité pour se couvrir contre les aléas ;
- N : nombre de Kanban à mettre en circulation.

Attention, les formules de calcul du nombre de Kanban doivent être considérées avec beaucoup de prudence. Le bon sens reste un élément essentiel dans la mise en place de ce type de méthode, dans son application et dans son évolution.

1. « Le dimensionnement de boucles Kanban », *Revue Technologie* n° 146, novembre-décembre 2006.

D'ailleurs, comme le dit S. SHINGO dans son ouvrage *Maîtrise de la production et méthode Kanban* : « La façon de déterminer le nombre de Kanban n'est pas le plus important. Ce qui compte, c'est de se demander comment doit-on améliorer le système de production pour fixer un nombre de Kanban minimum ? »

La réponse à cette question comporte un certain nombre d'éléments, en particulier :

- la diminution des temps nécessaires aux changements d'outils ;
- la diminution des délais de production ;
- la diminution des pannes machines ;
- la diminution du nombre de pièces non conformes ;
- la suppression des stocks de sécurité que l'on garde généralement pour se protéger contre les aléas de production.

Tous ces éléments vont permettre de diminuer le délai de mise à disposition des containers.

3. La méthode CONWIP et la méthode du Kanban générique

La méthode CONWIP et le Kanban générique ont été créés pour pallier une insuffisance importante du Kanban spécifique : un nombre de produits et de composants réduits. Grâce au Kanban générique, on pourra gérer en Kanban autant de produits que l'on veut ou presque…

La méthode CONWIP (*Constant Work In Process*) est apparue comme une amélioration du Kanban dans le cas d'une ligne de production produisant des produits très différents. En effet, si une ligne doit être capable de produire 50 types de produits différents, le système Kanban classique va générer des en-cours très importants entre les postes puisque les 50 produits devront être représentés. La méthode CONWIP permet de résoudre ce problème. Cependant, on verra qu'elle n'est pas optimale s'il existe de grandes variations dans les capacités de certains postes.

Le Kanban générique, quant à lui, est une méthode plus aboutie, permettant de faire un compromis entre l'approche CONWIP et le Kanban spécifique.

3.1. La méthode CONWIP

La figure 13.9 illustre la différence de circulation des flux physiques et des flux d'informations dans un Kanban spécifique et dans la méthode CONWIP.

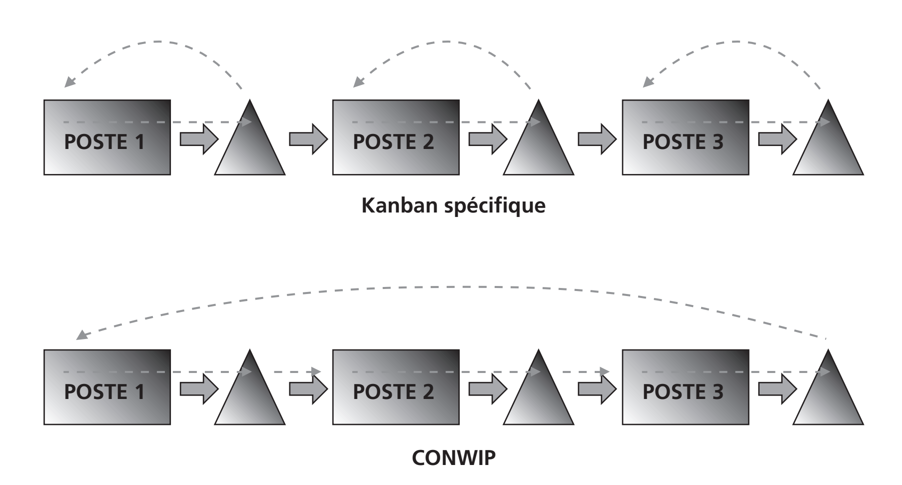


Figure 13.9. – Kanban spécifique et CONWIP

Dans l'approche du Kanban spécifique, le flux est tiré par l'aval. Le poste P3 prélève dans l'en-cours P2 qui, lui-même, prélève dans l'en-cours P1 (figure 13.9). Supposons que cette ligne de production fabrique cinq types de produits A, B, C, D, E. La demande actuelle est essentiellement des produits A. Le Kanban va très bien gérer cette situation, en remontant poste à poste l'information de la consommation d'un produit A.

Supposons maintenant que, brusquement, la demande de l'aval bascule vers le produit B. Comme on était en train de consommer du produit A, il faudra un certain temps pour remonter l'information de la consommation du produit B avant que le poste P1 ne commence à s'adapter à la nouvelle commande. Or, l'information du changement de demande était disponible sur le poste aval : pourquoi ne pas répercuter au plus vite cette information ?

Un second problème se pose avec le produit E qui n'est demandé que très rarement. Avec le Kanban spécifique, il faudrait maintenir à chaque en-cours un minimum de produit E pour pouvoir remonter l'information de la consommation de ce produit. Avec le système CONWIP, lorsqu'une demande de produit E est formulée, un Kanban est envoyé directement au poste P1 pour produire l'article E, qui sera ensuite poussé vers le poste P3 sans nécessiter d'en-cours.

Le problème majeur de ce système est la gestion des capacités. Supposons que le poste P2 soit un poste goulot. Si une demande forte apparaît en aval, on va générer de nombreux Kanban pour le poste P1. Les rythmes de production différents entre P1 et P2 vont créer un en-cours important entre ces deux postes, ce qui est évidemment contraire au but recherché.

La méthode du Kanban générique que nous décrivons au paragraphe 3.2 permet de gérer efficacement ces problèmes-là.

3.2. Description d'un système Kanban générique

La différence essentielle entre le Kanban spécifique et le Kanban générique est la suivante :

- en Kanban spécifique, l'étiquette ou l'emplacement vide donne l'autorisation de produire et dit quelle référence produire ;
- en Kanban générique, l'étiquette ou l'emplacement vide donne seulement l'autorisation de produire. C'est le « programme client », matérialisé par un programme directeur de production par exemple, qui va nous dire quelle référence produire.

Considérons une ligne de production composée de plusieurs postes de production (figure 13.10). Comme en Kanban spécifique, on aura plusieurs étiquettes, ou plusieurs emplacements entre chaque poste de la ligne. Comme en Kanban spécifique, c'est l'étiquette ou l'emplacement vide qui déclenchera l'ordre de produire pour le poste. Mais pour savoir ce qu'il doit produire, il regardera en amont et fera passer le premier produit arrivé antérieurement sur son poste. Chaque poste fonctionnera ainsi en FIFO et cela jusqu'au premier poste qui, lui, déclenchera la fabrication en fonction des informations données par son programme client.

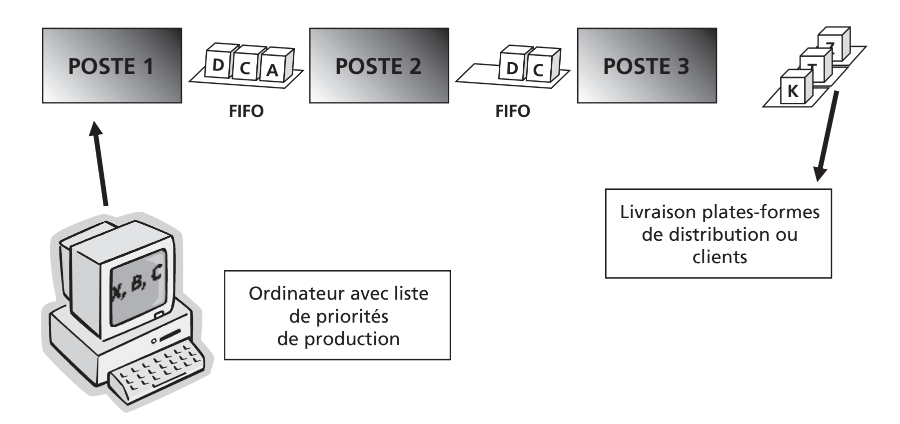


Figure 13.10 – Le Kanban générique : exemple de fonctionnement (instant *t*)

Si l'on observe la ligne de production à l'instant *t*, qu'observe-t-on ? Le poste 2 a un emplacement vide, il peut donc produire. Un regard au niveau de son stock amont lui dit qu'il doit produire du A, et c'est ce qu'il fait.

Observons maintenant la ligne de production à l'instant *t* + 1 (figure 13.11).

Figure 13.11 – Le Kanban générique : exemple de fonctionnement (instant *t* + 1)

Le poste 2 a libéré un emplacement pour le poste 1 qui peut donc produire. Le poste 1 est le premier poste sur la ligne de production, il n'a donc pas de stock amont pour savoir ce qu'il doit produire mais il a un « programme client » informatique qui va lui indiquer les priorités de production (X, puis B, puis C, puis T, dans l'exemple).

Par ailleurs, un emplacement s'est libéré au niveau des produits finis, en aval du poste 3. Celui-ci va donc pouvoir produire un container de produits C et libérer un emplacement pour le poste 2 qui va donc produire un container de produits C également, et ainsi de suite jusqu'au premier poste…

On voit bien sur cet exemple que le Kanban générique est un système de pilotage par l'aval dans lequel les priorités de production sont données par le premier poste, donc le « programme client ».

Le Kanban générique peut donc s'appliquer en théorie à toute typologie de production que la variété soit petite ou grande, que la répétitivité soit petite ou grande.

3.3. Intérêts de la mise en place d'un système Kanban générique

Le Kanban générique permet tout d'abord de simplifier le pilotage de l'atelier et de le simplifier encore plus qu'en Kanban spécifique. En effet, avec la règle du FIFO, les opérateurs n'ont plus qu'à être vigilants quant à la circulation des étiquettes ou l'apparition des emplacements vides. Ils savent ensuite ce qu'il faut produire sans avoir à choisir entre plusieurs postes. C'est donc ultrasimple de gestion mais on verra plus tard que la conception du système est complexe, ainsi que la circulation des composants et des sous-ensembles en stock.

Le Kanban générique permet ensuite de mieux visualiser et clarifier les flux physiques. Les stocks étant limités par les étiquettes ou les emplacements entre les postes, on peut mieux observer les flux de production.

Le Kanban générique permet aussi d'éviter les engorgements du système qui existent en gestion d'atelier par ordre de fabrication, où l'on lance les ordres de fabrication sans se préoccuper des problèmes éventuels de postes situés plus en aval dans la ligne de production. En Kanban générique, le nombre d'emplacements ou d'étiquettes limité régule totalement le flux, et peut aller jusqu'à l'arrêt de la production en cas de gros problèmes…

Le Kanban générique ressemble finalement beaucoup à une gestion par OF mais sans les OF et sans les inconvénients d'une gestion par OF. En revanche, un certain nombre d'inconvénients propres à la méthode limite les expériences de mise en place du Kanban générique, c'est ce que nous allons étudier maintenant.

3.4. Limites de la mise en place d'un système Kanban générique

Le Kanban générique est proche d'une gestion par OF puisqu'il va bien souvent utiliser le calcul des besoins comme programme clients, et les ordres proposés suite au calcul des besoins pour indiquer les priorités et les quantités à produire. Cela se traduit par la nécessité de faire converger au bon moment tous les composants et sous-ensembles nécessaires à la réalisation des produits, et cela sur tous les postes de la ligne Kanban en synchronisation totale avec les besoins. Ceci fait étrangement penser à ce qui se passe sur les lignes d'assemblage automobiles et pose les mêmes problèmes. Ce point constitue sans doute la principale limite de ce système. En effet, plus il y aura de diversité sur une ligne, plus il y aura de complexité dans la mise en place d'un Kanban générique sur cette ligne.

Le Kanban générique nécessite donc une étude longue, rigoureuse et précise avant d'être mis en place, ce qui décourage parfois certains. Et c'est dommage, car une fois mis en place, c'est un système très simple et très performant.

4. Les bonnes pratiques lors de la mise en place d'un système Kanban, qu'il soit spécifique ou générique

Comme nous venons de le voir, la méthode du Kanban est excessivement simple à mettre en œuvre. Mais il ne faut pas oublier que l'utilisation d'un Kanban dans un atelier correspond à l'apparition d'un système d'information

qui va mettre en évidence, révéler la plupart des problèmes d'atelier. Gérer un flux de produits par la méthode Kanban nécessite une très grande fluidité de l'écoulement des produits. Loin de réguler les perturbations, le système Kanban, lorsqu'il est tendu, a plutôt tendance à amplifier leurs effets, contrairement aux stocks qui les amortissent. L'atelier ne pourra donc fonctionner que si les problèmes sont résolus, ou en partie résolus.

Les actions à réaliser doivent être engagées d'une part avant, et d'autre part pendant la mise en œuvre de la méthode Kanban dans l'atelier. Ces actions sont une condition nécessaire à la réussite de l'installation du Kanban dans l'entreprise.

Les modifications à apporter sont multiples, et l'on peut remarquer que la démarche de progrès n'est pas la même dans toutes les entreprises. Certaines entreprises rencontreront des problèmes liés à leur implantation et devront travailler en priorité ce point-là, d'autres ont des temps de réglage très longs et nuisibles au bon fonctionnement du Kanban.

La plupart des actions que l'entreprise doit entreprendre ont été largement développées dans le chapitre 11 consacré au *Lean Manufacturing*. On peut cependant rappeler :

- la nécessité d'une bonne implantation des ateliers ;
- la nécessité de réduire considérablement les temps de changements de série ;
- la suppression des aléas (pannes, pièces non conformes…) ;
- le développement de relations privilégiées, le véritable partenariat avec les fournisseurs internes et externes à l'entreprise ;
- la nécessité d'une importante polyvalence du personnel que l'on peut obtenir par la formation. On ne recherche plus seulement la productivité dans un atelier qui fonctionne en Kanban mais plutôt la qualité des produits, ce qui passe forcément par la responsabilisation du personnel. Ce personnel doit, en outre, être capable de changer de poste, de lancer des actions de réglage ou d'entretien. Ceci est aujourd'hui très difficile à réaliser dans certaines entreprises, la culture ne permettant pas toujours d'évoluer dans ce sens-là ;
- la nécessité de faire évoluer les produits et leurs composants. Pour simplifier la gestion du Kanban, il faut standardiser les composants et/ou les sous-ensembles du produit, ce qui permet de diminuer le nombre de références à gérer.

5. Mise en place d'un système Kanban

5.1. Avantages du système

Son premier avantage provient du fait qu'il permet de révéler les problèmes de l'atelier. À ce propos, les Japonais utilisent l'image très révélatrice de la rivière (voir chapitre 11, figure 11.10).

Quand il y a des perturbations dans le système, on a l'habitude d'augmenter le niveau des stocks pour améliorer le débit du flux de produits. Les Japonais expliquent qu'il vaut mieux diminuer le niveau des stocks, ce qui fait apparaître les perturbations que l'on peut alors mieux combattre (puisqu'on les connaît) et améliorer par la suite le débit du flux de produits.

D'autres avantages plus concrets existent. Dans un atelier qui utilise la méthode Kanban, on peut souvent constater une circulation rapide de l'information entre les postes de travail concernant les problèmes machines, les pannes, les pièces défectueuses. On peut également observer le développement de la cohésion entre les postes de travail, du fait de la très grande dépendance existant entre eux.

Le service proposé au client s'améliore et se traduit par une meilleure fiabilité au niveau du respect des délais, de la qualité et des quantités. On peut livrer le client plus souvent, et par petites quantités. L'objectif ultime du Kanban est de fabriquer et de livrer un petit peu de tout tous les jours. Le Kanban permet de décentraliser et de simplifier la gestion de production au sein de l'atelier. Il n'y a plus besoin d'ordres de fabrication, le système Kanban s'autogère grâce à la prise des décisions directement au niveau des opérateurs.

Par ailleurs, il ne faut pas oublier qu'un des avantages principaux peut s'exprimer en termes de diminution des stocks ; cela produit généralement un dégagement de trésorerie, davantage de place dans les ateliers et les entrepôts, une plus grande facilité de gestion des stocks et une réaction plus rapide aux évolutions (puisque l'on n'a plus à attendre d'écouler un stock important pour réagir).

On peut citer un dernier élément intéressant pour l'entreprise, qui est la conséquence de ceux précédemment présentés. Il s'agit de l'accroissement de la réactivité du système, devenu flexible, qui permet à l'entreprise de s'adapter vite, de réagir vite. En effet, le temps de réaction à une modification éventuelle de la demande est très rapide puisque l'on ne produit que pour répondre à la demande avec des niveaux de stocks réduits au plus juste.

5.2. La convivialité MRP2-Kanban

On peut constater qu'une des limites du Kanban est qu'il correspond à un système de pilotage d'atelier, donc de gestion d'atelier à court terme et ne peut, à ce titre, intégrer des informations prévisionnelles. Il n'est donc pas adapté pour déclencher des approvisionnements ou des productions quand le délai d'anticipation est trop grand. Cela représente un problème quand la demande fluctue beaucoup, ce qui est le cas dans la plupart des entreprises aujourd'hui.

Faut-il supposer que le Kanban est inutilisable dans ce type de situation ?

Non ! On va utiliser l'outil de planification MRP2 pour pallier cette lacune (voir chapitre 5 : Planification détaillée et chapitre 7 : Planification globale). Il va permettre de lisser la charge de l'atelier. Le fonctionnement de l'atelier ne sera plus alors fondé sur la demande réelle mais sur une demande lissée, régularisée. L'outil MRP2 va à cet effet établir des programmes prévisionnels de production assurant l'équilibre entre la charge et la capacité des ateliers, et prévoyant l'utilisation prévisionnelle des machines, de la main-d'œuvre, le doublement éventuel des équipes, l'appel à la sous-traitance…

Il existe, par ailleurs, des possibilités d'ordonnancement simultané MRP2-Kanban, certains ateliers pouvant fonctionner en Kanban, d'autres avec des OF (logique MRP).

On peut par exemple citer la combinaison :

- ateliers de montage fonctionnant en Kanban, car plus proches au niveau délai de la demande ;
- ateliers d'usinage des composants et des sous-ensembles gérés par ordres de fabrication classiques ;
- stocks de découplage entre les deux ateliers.

Le Kanban n'étant qu'un système de régulation à court terme du flux de production, il ne fonctionnera correctement que si la régulation à moyen terme a été bien définie. Il existe donc une forte complémentarité entre MRP2 et Kanban.

6. Conclusion

La méthode Kanban est l'un des outils d'application de la philosophie *Lean Manufacturing*. Tous les éléments de réflexion évoqués dans le chapitre *Lean Manufacturing* doivent y être appliqués pour que le système Kanban fonctionne bien.

Cette méthode n'est, en fait, qu'une méthode d'organisation et de gestion d'atelier, et ne va pas au-delà.

Si l'entreprise qui l'utilise évolue dans un environnement parfaitement stable en termes de demande, elle pourra se satisfaire de piloter à vue avec les Kanban. Malheureusement, aujourd'hui, les entreprises dans cette situation sont très rares. Il devient alors nécessaire, dans un environnement instable, de coupler le Kanban avec le système de planification MRP2 qui sera là pour régulariser la demande, planifier les approvisionnements et rendre le fonctionnement du Kanban possible et efficace.

N'oublions pas que d'autres éléments sont nécessaires pour que le Kanban soit efficace, en particulier la polyvalence, la polytechnicité, l'autonomie et la flexibilité des personnes qui feront fonctionner le Kanban. Les problèmes doivent être résolus au niveau où ils se génèrent… Les problèmes Kanban doivent être résolus par les opérateurs. Ils ont un rôle essentiel à jouer dans la réussite d'un projet Kanban.

Le Kanban est aujourd'hui un outil très répandu dans les entreprises où il est surtout apprécié pour sa réactivité, condition essentielle de survie de l'entreprise dans le contexte économique actuel.

Le Kanban est aussi utilisé dans des entreprises assez inattendues n'ayant pas d'activité de production industrielle traditionnelle. Il est, par exemple, utilisé pour déclencher des réapprovisionnements de produits. C'est le cas dans la logistique pharmaceutique où il est largement répandu entre officines et plates-formes de regroupements de médicaments. La réactivité est l'atout essentiel de ce système, puisque tout patient peut obtenir le médicament qu'il souhaite dans un délai d'une demi-journée. Il est aussi utilisé dans des restaurants de type fast-food pour déclencher la réalisation à nouveau d'un lot de produits dont la consommation est souhaitée très vite. L'atout de ce système est, là aussi, la très forte réactivité.

Il s'agit d'un outil très simple de mise en place et de compréhension qui permet un réel pilotage des ateliers au niveau des opérateurs qui peuvent en assumer l'entière responsabilité.

Chapitre 14
L'implantation d'atelier

1. Introduction

Réimplanter des machines, réorganiser un atelier, mettre des postes de travail en ligne sont devenus des opérations de plus en plus courantes dans les entreprises, avec notamment la mise en place du *Lean Manufacturing*. La plupart du temps, ces réimplantations se font avec le simple bon sens. Il existe pourtant des méthodes permettant d'optimiser les implantations comme l'approche de King, Kusiak, les méthodes des antériorités, des proximités, des chaînons…

Ce chapitre propose de faire le point sur une démarche de réimplantation en dix étapes : Définition, Modélisation, Caractérisation, Améliorations, Propositions, Valorisation, Restitution, Décision, Planification, Réalisation.

Mais avant d'aborder la réimplantation, voyons les différents types d'implantation existants.

2. Typologie de production

On distingue trois grands types de production, sachant que l'on pourrait trouver de nombreux types intermédiaires :

- production en continu ;
- production en discontinu ;
- production par projet.

2.1. Production en continu

Une production est en continu lorsque l'on traite des quantités importantes d'un produit ou d'une famille de produit. L'implantation est réalisée en ligne de production, rendant le flux du produit linéaire. On dit que l'on est en présence d'un atelier à flux que nos collègues anglo-saxons nomment *flow shop*.

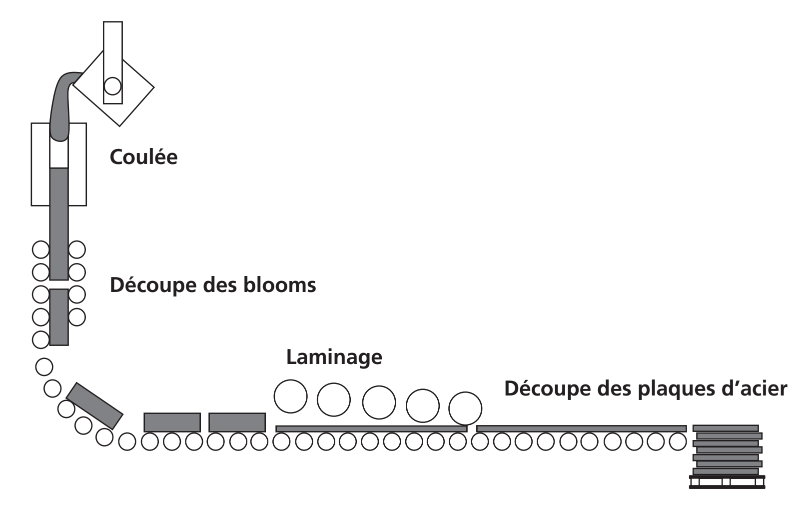


Figure 14.1 – Production en continu

Dans ce type de production, les machines ou les installations sont dédiées au produit à fabriquer ce qui, en général, ne permet pas une grande flexibilité. De plus, afin d'éviter de créer des goulots d'étranglement et de fluidifier l'écoulement des produits, l'équilibrage de la production de chacune des machines doit être appréhendé avec beaucoup de soin.

Les industries pétrochimiques, les cimenteries sont des exemples typiques de ce type d'entreprises. Mais on retrouve également la même organisation dans l'assemblage de produits réalisés en grandes séries, telle que la fabrication de roulements à billes de série ou la fabrication, le remplissage et le conditionnement des bouteilles d'eau d'Évian.

En règle générale, ce type de production est accompagné d'une automatisation poussée des processus de production ainsi que des systèmes de manutention. Cette automatisation est rendue nécessaire par le besoin d'obtenir des coûts de revient bas, un niveau de qualité élevé et stable, de n'avoir que très peu d'en-cours et une circulation rapide des produits. Elle a pour conséquence l'obligation de recourir à l'entretien préventif des machines, sous peine de risquer un arrêt total de l'atelier.

2.2. Production en discontinu

Une production en discontinu est retenue lorsque l'on traite des quantités relativement faibles, de nombreux produits variés, réalisés à partir d'un parc machines à vocation générale.

L'implantation est réalisée par ateliers fonctionnels ou sections homogènes qui regroupent les machines en fonction de la tâche qu'elles exécutent (tournage, fraisage…). Le flux des produits est fonction de l'enchaînement des tâches à réaliser. On dit que l'on est en présence d'un atelier à tâches, que nos collègues anglo-saxons nomment *job shop*.

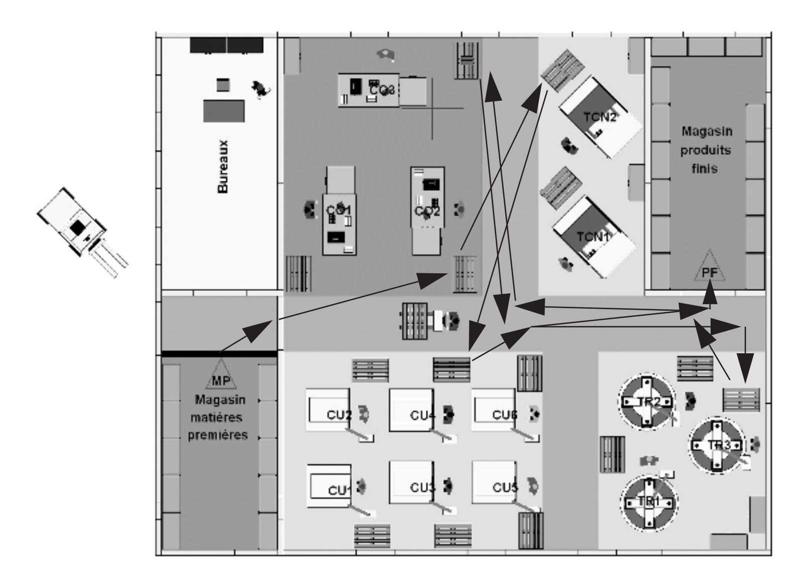


Figure 14.2 – Production en discontinu

Dans ce type de production, les machines ou les installations sont capables de réaliser un grand nombre de travaux ; elles ne sont pas spécifiques à un produit, ce qui donne une grande flexibilité. En revanche, il est très difficile d'équilibrer les tâches dans une production en discontinu, ce qui génère des niveaux de stocks et d'en-cours élevés.

Les industries de mécanique générale et les entreprises de confection sont souvent organisées de cette façon.

2.3. Production par projet

Dans le cas de la production par projet, le produit est unique. Citons, par exemple, la construction d'un navire de croisière ou la construction d'un barrage. Il en découle que le processus de production est unique et ne se renouvelle

pas. Le principe d'une production par projet est donc d'enchaîner toutes les opérations conduisant à l'aboutissement du projet, en minimisant les temps morts afin de livrer le produit avec un délai minimal ou au moment convenu.

Dans ce type de production, on ne peut pas stabiliser de façon formelle une production. Le produit est en général fixe, et les différents corps de métiers interviennent successivement ou parallèlement sur le produit. L'organisation doit être capable de prendre en compte de nombreuses et importantes perturbations extérieures, conduisant souvent à des retards (on citera l'exemple de la mise au point des Airbus A380 ou des Boeing Dreamliner).

On pourra remarquer que certaines entreprises ont des produits qui, bien que semblables, sont à chaque fois personnalisés et spécifiques (avions Airbus, fusées *Ariane*, pompes spéciales…). Elles fonctionnent en grande partie par projets.

2.4. Comparaison type continu et discontinu

Chaque type de production possède ses avantages et ses inconvénients. Aussi est-il intéressant d'étudier conjointement les deux typologies les plus représentées : continue et discontinue.

	Type continu	Type discontinu
Flux des produits	Flux linéaire M1 M2 M3 M4	Flux complexes M1 M3 M2 M4
Efficacité	Importante	Faible
Flexibilité	Lignes de production rigides	Lignes de production souples
Délais	Faibles	Longs
En-cours	Faibles	Importants

Figure 14.3 – Comparaison type continu et discontinu

Lorsque l'on regarde la figure 14.3, on s'aperçoit qu'il vaut mieux avoir à gérer des processus continus plutôt que des processus discontinus. Ne peut-on pas transformer un processus discontinu en un processus continu ? La recherche d'îlots ainsi que les méthodes de mise en ligne (voir plus loin dans ce chapitre) sont des techniques que l'on peut présenter comme effectuant cette démarche. En effet, on recherche à l'intérieur d'un atelier de mécanique (organisation discontinue) par exemple, toutes les pièces qui ont la même

gamme (ou une gamme similaire). On regroupe ensuite les machines en cellule de production dans laquelle on retrouve une organisation continue. On a bien transformé un processus discontinu en un processus continu.

L'avantage de ce regroupement est principalement d'augmenter l'efficacité (voir ratio d'efficacité plus loin dans ce chapitre) et donc de diminuer les délais et les en-cours. Cependant, le revers de la médaille est constitué par la perte de souplesse introduite en figeant les machines dans la cellule de production.

Dans une organisation classique, un tour, par exemple, est capable d'usiner la plupart des pièces tournées de l'atelier. Dans une organisation de type cellule flexible, il devient très difficile de faire exécuter au tour intégré à la cellule, des pièces ayant des gammes différentes de celles retenues, ou cela risque de désorganiser la cellule.

On notera le compromis difficile à trouver entre les deux solutions extrêmes suivantes :

- une grande flexibilité mais une organisation complexe et une réactivité faible ;
- une flexibilité plus faible, mais une organisation et une gestion considérablement allégées et une réactivité plus grande.

Lorsqu'on compare les différents types de production (continue, discontinue et par projet), on note une relation étroite entre le coût et le volume de production (figure 14.4).

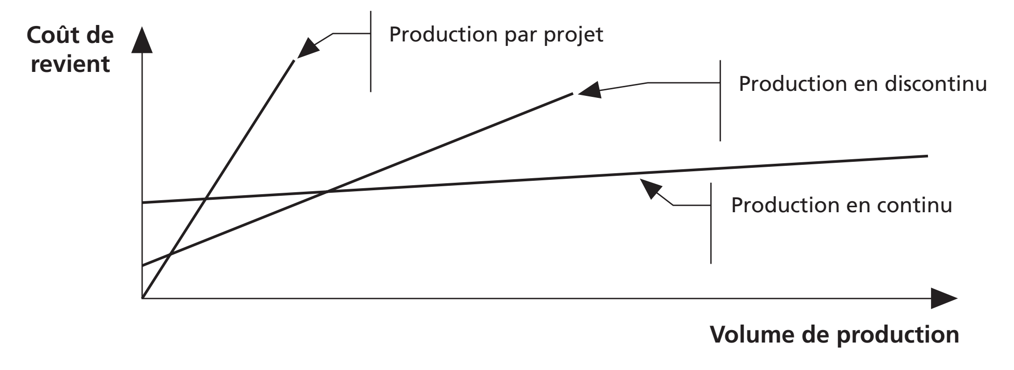


Figure 14.4 – Relation entre le coût et le volume de production

Pour les faibles volumes, une production par projet sera plus avantageuse (fabrication d'une formule 1). Si le volume augmente, on passera par la production en discontinu (fabrication d'une Ferrari), et si les volumes deviennent très importants, on passera à la production en continu (fabrication d'une Twingo).

Un des points épineux est le passage du fonctionnement en discontinu au fonctionnement en continu, car le discontinu offre des avantages de flexibilité qu'il faut pouvoir conserver le plus longtemps possible.

3. Étape 1 : Définition du projet

Il s'agit dans cette première étape de définir les limites géographiques et temporelles du projet. Va-t-on s'occuper de la réimplantation d'un site industriel complet, ou seulement d'un atelier ou d'un secteur dans un atelier ? Quels objectifs cherche-t-on à atteindre ? Va-t-on prendre en compte tous les produits, ou seulement quelques-uns qui sont les plus représentatifs ? Qui va mener le projet : une équipe réduite du service industrialisation, ou un groupe de projet comprenant des opérateurs, magasiniers, logisticiens, qualiticiens, techniciens industrialisation, techniciens maintenance et personnels d'encadrement en production ? Qui sera le pilote du projet ?

Il faut aussi définir l'échéance du projet : est-ce une action choc à très court terme (chantier Hoshin), ou un projet d'ampleur avec une échéance à long terme ?

Pour la suite, nous allons nous fonder sur le cas d'une entreprise de mécanique générale. Actuellement, celle-ci est implantée de façon fonctionnelle (sections homogènes). Une sélection représentative de 13 produits a été réalisée. Une étude de l'historique de production a permis de calculer la production hebdomadaire moyenne. Le tableau ci-dessous présente les 13 produits avec leur gamme de fabrication.

Produit	P01	P02	P03	P04	P05	P06	P07	P08	P09	P10	P11	P12	P13
Quantité/semaine	200	100	250	10	300	100	100	150	200	300	100	150	50
Poids unitaire kg	20	5	18	9	50	28	10	12	30	45	22	15	45
Phases	**Gammes**												
10	MP	MP	MP	MP	MP	MP	MP	MP	MP	MP	MP	MP	MP
20	TR3	CU3	CU5	TR3	CU5	TCN2	CU5	CU2	TCN2	TR3	TCN1	CU2	TCN2
30	CU5	TR1	TCN1	CO2	TR1	CU5	TR1	CU4	CU6	TR2	CO3	TR2	CO2
40	CO2	CU1	CO1	PF	CU1	CU6	CU1	TR2	PF	CU2	CO1	CU4	CU5
50	CU6	CO1	PF		CO1	PF	CO3	TR3		CO2	PF	CO2	CU6
60	PF	PF			PF		PF	PF		PF		PF	PF

Figure 14.5 – Produits et gammes de fabrication

4. Étape 2 : Modélisation de l'implantation existante

4.1. Plan de l'implantation existante

En premier lieu il faut tracer le plan de l'implantation existante. Dans certaines entreprises, ce plan est maintenu à jour par le service méthode ou industrialisation. Dans d'autres, il n'y a pas de plan de l'implantation actuelle et il faut donc commencer par le tracer. Une bonne habitude est de faire un plan coloré avec la méthode VOIR (V = Vert = zone où l'on apporte de la valeur ajoutée, O = Orange = zone de stockage d'en-cours ou magasins de stockage, I = Indigo = bleu = allées de circulation, R = Rouge = zone où l'on réalise du contrôle). Les zones non concernées par ce code de couleur pourront être blanches ou jaunes, par exemple.

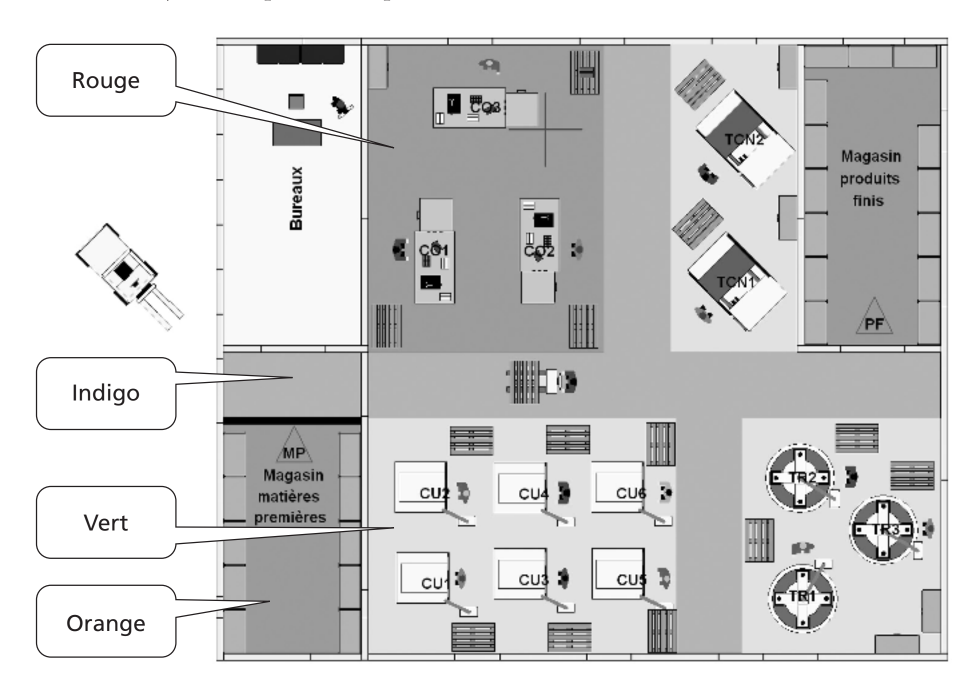


Figure 14.6 – Plan de l'implantation actuelle

4.2. Implantation théorique et schéma opératoire

Il est souvent utile, à partir de l'implantation actuelle de tracer une implantation théorique ou un schéma opératoire. Ceci permet de raisonner sur la position relative des postes entre eux, sans considération de taille ou de disposition de bâtiment. Les méthodes théoriques que nous verrons plus loin, conduisent toutes à des implantations théoriques. Les flèches représentent les flux issus des gammes de fabrication.

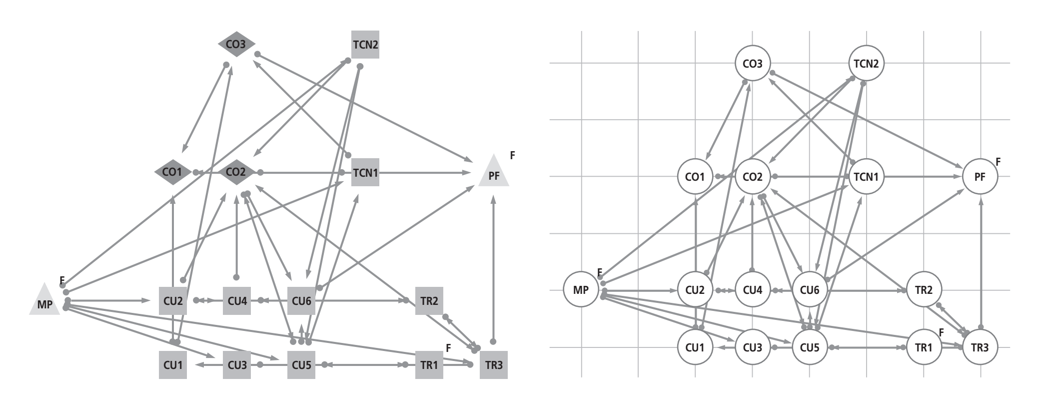


Figure 14.7 – Schéma opératoire et implantation théorique actuelle

Stock (orange)	▲	Contrôle (rouge)	◆
En-cours (orange)	D	Opération (vert)	■
Transport (bleu)	➡ ou ici →	Éventuellement : poste avec autocontrôle	◆

Figure 14.8 – Symboles pour tracer les schémas opératoires

Dans notre exemple, il n'y a pas de zone spéciale dans l'atelier dédiée aux en-cours. Chaque poste de travail dispose, bien sûr, d'une zone d'en-cours nécessaire à son fonctionnement, et qui est indissociable du poste (il s'agit de l'emplacement de la palette à côté de chaque poste).

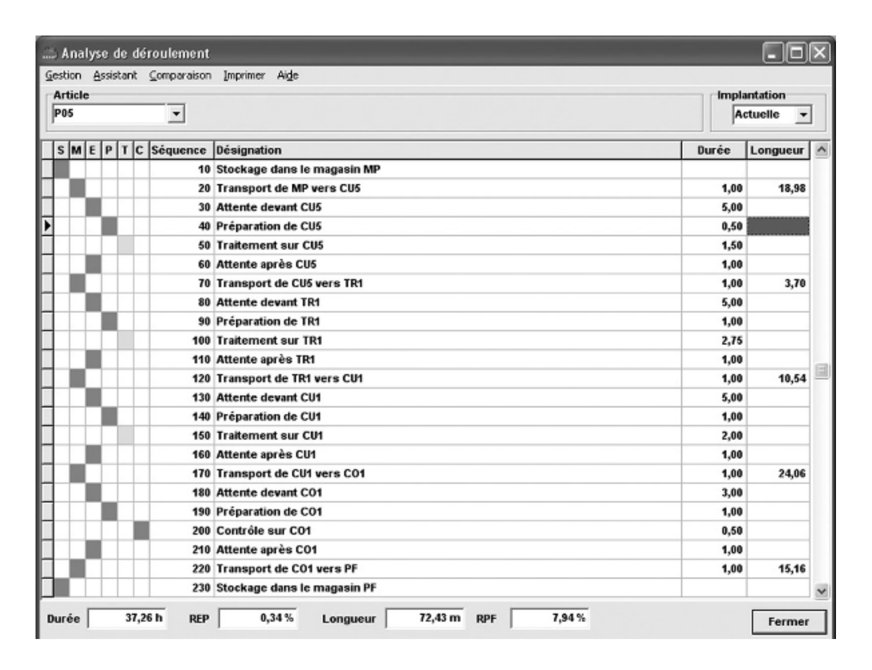
4.3. Analyse de déroulement

L'analyse de déroulement permet de détailler dans un tableau toutes les opérations élémentaires qui sont effectuées pour réaliser un produit. Les opérations élémentaires peuvent être :

- du stockage de produit (S ou ▲) ;
- des transports ou mouvements (M ou ➡) ;
- des attentes en en-cours (E ou D) ;
- des attentes pour préparation du poste ou changement de série (P ou ■) ;
- le traitement des produits (T ou ■) ;
- le contrôle des produits (C ou ◆).

Seules, apparaissent en vert, les opérations de traitements (T), car toutes les autres constituent des gaspillages (au sens du *Lean Manufacturing*). Cette

analyse permet de quantifier le temps passé à chacune des étapes (par observation et chronométrage), et permet aussi de mesurer les distances parcourues. On peut ainsi connaître le temps total de réalisation d'un produit et la longueur totale du trajet. On peut ainsi calculer des indicateurs comme le RTF ou le RPF (voir l'étape de Valorisation).


Analyse de déroulement

Gestion Assistant Comparaison Imprimer Aide

Article: P05 — Implantation: Actuelle

S	M	E	P	T	C	Séquence	Désignation	Durée	Longueur
■						10	Stockage dans le magasin MP		
	■					20	Transport de MP vers CU5	1,00	18,98
		■				30	Attente devant CU5	5,00	
			■			40	Préparation de CU5	0,50	
				■		50	Traitement sur CU5	1,50	
		■				60	Attente après CU5	1,00	
	■					70	Transport de CU5 vers TR1	1,00	3,70
		■				80	Attente devant TR1	5,00	
			■			90	Préparation de TR1	1,00	
				■		100	Traitement sur TR1	2,75	
		■				110	Attente après TR1	1,00	
	■					120	Transport de TR1 vers CU1	1,00	10,54
		■				130	Attente devant CU1	5,00	
			■			140	Préparation de CU1	1,00	
				■		150	Traitement sur CU1	2,00	
		■				160	Attente après CU1	1,00	
	■					170	Transport de CU1 vers CO1	1,00	24,06
		■				180	Attente devant CO1	3,00	
			■			190	Préparation de CO1	1,00	
					■	200	Contrôle sur CO1	0,50	
		■				210	Attente après CO1	1,00	
	■					220	Transport de CO1 vers PF	1,00	15,16
■						230	Stockage dans le magasin PF		

Durée 37,26 h — REP 0,34 % — Longueur 72,43 m — RPF 7,94 % — Fermer

Figure 14.9 – Analyse de déroulement du produit P05

Remarque : cette analyse étant relativement lourde, on ne la pratiquera que sur les produits majeurs de l'entreprise (ceux qui engendrent le plus de trafic : P05 dans notre exemple).

5. Étape 3 : Caractérisation de l'implantation existante

5.1. Quantification des trafics

Il s'agit ici de rechercher des critères pertinents qui permettront d'abord d'étudier l'implantation actuelle, et ensuite de rechercher une ou plusieurs solutions qui amélioreront les critères choisis.

Un premier critère qu'il faut chercher est comment mesurer ou évaluer le trafic des produits qui circulent dans l'entreprise. Faut-il prendre en compte le nombre de pièces fabriquées (éventuellement valable si toutes les pièces se

ressemblent), ou faut-il prendre en compte un facteur de pondération comme le volume, la surface, le poids ou le coût lié à la manutention ? On peut aussi mesurer le trafic de chaque produit en nombre de caisses ou palettes qui circulent de poste en poste.

Dans notre exemple, afin de comparer les produits sur un critère pertinent lié à la manutention il a été choisi de calculer le nombre de kilogrammes qui circule chaque semaine (Trafic = Quantité × Poids unitaire).

Produit	P01	P02	P03	P04	P05	P06	P07	P08	P09	P10	P11	P12	P13
Trafic	4000	500	4500	90	15000	2800	1000	1800	6000	13500	2200	2250	2250

Figure 14.10 – Quantification du trafic

La détermination de cet indice de trafic pour chaque produit ainsi que la connaissance des gammes de fabrication, permettent de tracer la matrice d'intensité des trafics. Celle-ci indique le trafic qu'il y a entre deux postes (ici par exemple 15500 kilos/semaine circulent du poste CU1 vers le poste CO1).

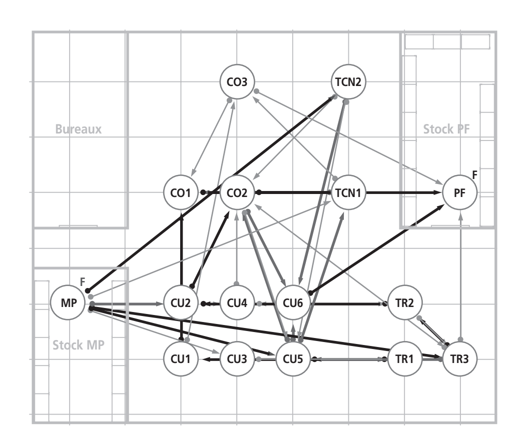
	CO1	CO2	CO3	CU1	CU2	CU3	CU4	CU5	CU6	TCN1	TCN2	TR1	TR2	TR3	MP	PF
CO1			2200	15500						4500						
CO2					13500		2250	4000			2250			90		
CO3				1000						2200						
CU1												16500				
CU2													13500		4050	
CU3															500	
CU4					1800								2250			
CU5		2250									2800			4000	20500	
CU6		4000						5050			6000					
TCN1								4500							2200	
TCN2															11050	
TR1						500		16000								
TR2					2250		1800							13500		
TR3													1800		17590	
MP																
PF	22200	15840	1000						15050					1800		

Figure 14.11 – Matrice d'intensité des trafics

Il est pratique dans cette matrice de colorier les flux en trois couleurs (rouge = trafics très importants, bleu = trafics importants, vert = trafics peu importants) de façon à voir sur les plans ou implantations théoriques, une représentation colorée des flux.

5.2. Graphique de circulation

La représentation des flux sur un plan s'appelle « graphique de circulation » (ou *spaghetti chart*). Sur une implantation théorique, les flux relient deux postes en ligne droite, alors que sur un plan, le tracé des flux représente les vrais déplacements.



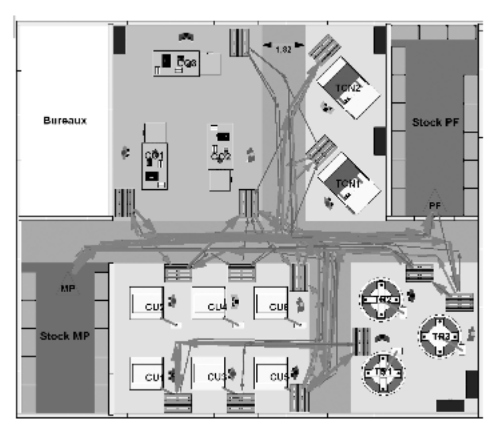


Figure 14.12 – Graphiques de circulation

5.3. Analyse forces/faiblesses

Pour caractériser le projet, on peut aussi rechercher les points forts et les points faibles de l'implantation actuelle de façon à faire une évaluation des forces et faiblesses. Cette analyse permet par la suite de guider la recherche de solution, en essayant d'améliorer les points faibles sans dégrader les points forts.

Forces / Faiblesses

Gestion Imprimer Aide

Désignation	-5	-4	-3	-2	-1	0	+1	+2	+3	+4	+5	Poids	Total
Accès maintenance 0.6 m												3	9
Accès palettes												2	2
Allées de 1.8 m												2	10
Allées droites												1	5
Flux clairs												1	-4
Flux courts												3	-9
Mise en ligne												2	-10

Implantation Actuelle — Valeur de l'implantation 3,00 — Imprimer — Fermer

Figure 14.13 – Analyse forces/faiblesses

Les différents critères et leur pondération devront être choisis et validés par l'ensemble de l'équipe de projet.

6. Étape 4 : Améliorations

6.1. Démarche générale

La démarche générale, dans le cadre d'un projet d'implantation, consiste à chercher des îlots ou des cellules de production. Puis, pour chaque îlot, on tentera une mise en ligne avec des flux les plus courts et les plus clairs possible, et si l'on n'y arrive pas, on cherchera à optimiser les flux sans mise en ligne.

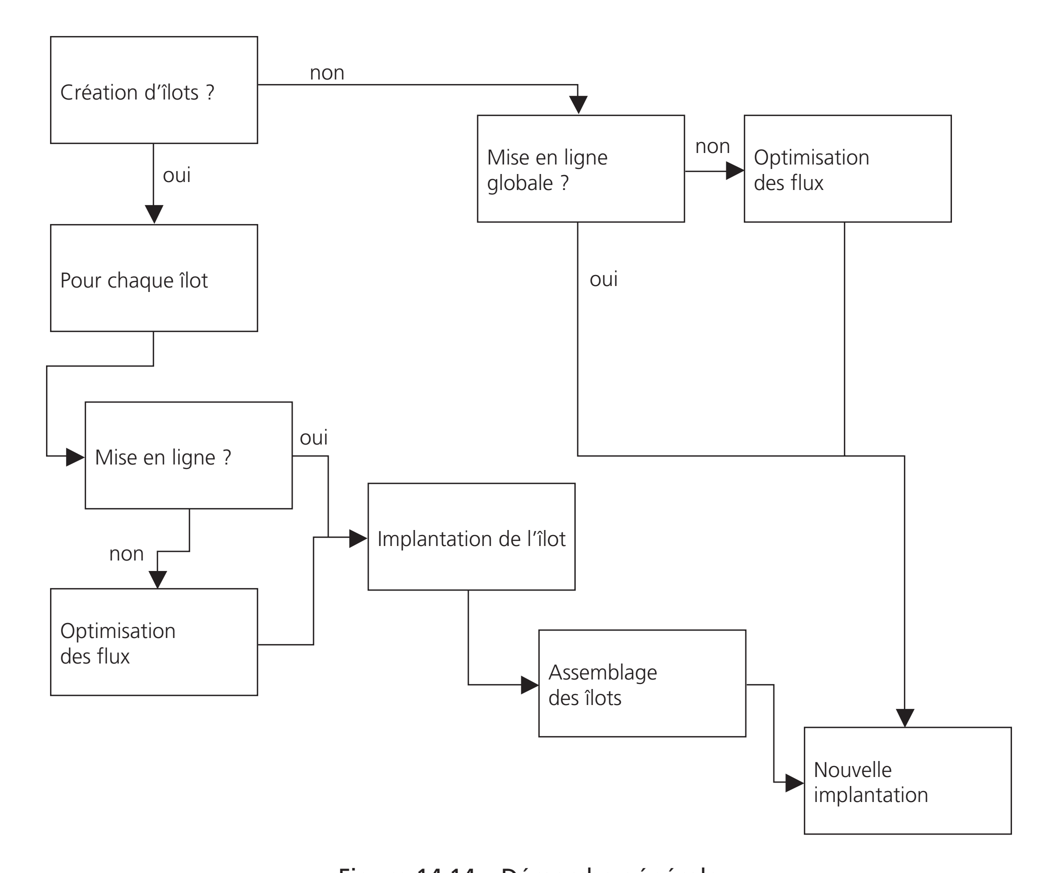


Figure 14.14 – Démarche générale

6.2. Recherche d'îlots

Les deux méthodes suivantes permettent, à partir de la matrice des gammes de fabrication, de trier les lignes et les colonnes afin de faire apparaître des groupes de postes qui réaliseront chacun un groupe de produits.

6.2.1. Méthode de Kusiak[1]

Cette méthode consiste à créer la matrice des gammes, en indiquant pour chaque produit les numéros d'opération issus des gammes.

	CO1	CO2	CO3	CU1	CU2	CU3	CU4	CU5	CU6	TCN1	TCN2	TR1	TR2	TR3	MP	PF	Trafic
P01		4						3	5					2	1	6	4000
P02	5			4		2						3			1	6	500
P03	4							2		3					1	5	4500
P04		3												2	1	4	90
P05	5			4				2				3			1	6	15000
P06								3	4		2				1	5	2800
P07			5	4				2				3			1	6	1000
P08					2		3						4	5	1	6	1800
P09									3		2				1	4	6000
P10		5			4								3	2	1	6	13500
P11	4		3							2					1	5	2200
P12		5			2		4						3		1	6	2250
P13		3						4	5		2				1	6	2250

Figure 14.15 – Tableau des gammes

Pour faciliter la recherche des îlots, les postes ou magasins de stockage qui seraient utilisés par tous les produits ne sont pas à prendre en compte (on enlève ici MP et PF).

On commence la méthode en rayant le produit qui engendre le plus de trafic, puis tous les postes qui sont utilisés par ce produit. Ceci assure que ce produit sera réalisé dans un îlot.

1. Andrew Kusiak and Wing S. Chow, University of Manitoba, Winnipeg, Manitoba, Canada.

	CO1	CO2	CO3	CU1	CU2	CU3	CU4	CU5	CU6	TCN1	TCN2	TR1	TR2	TR3	Trafic
P01		4						3	5					2	4000
P02	5			4		2						3			500
P03	4							2		3					4500
P04		3												2	90
P05	5			4				2				3			15000
P06								3	4		2				2800
P07			5	4				2				3			1000
P08					2		3						4	5	1800
P09									3		2				6000
P10		5			4								3	2	13500
P11	4		3							2					2200
P12		5			2		4						3		2250
P13		3						4	5		2				2250

Figure 14.16 – Première étape de la méthode de Kusiak

On regarde ensuite si l'on peut ajouter des produits à cet îlot en appliquant la règle des 50% (on n'ajoute un nouveau produit que s'il y a déjà plus de 50% de chiffres qui sont déjà rayés). Ceci permet d'ajouter P02 (3 sur 4 = 75%) puis P03 (2 sur 3 = 67%) puis P07 (3 sur 4 = 75%). Ensuite, on regarde si l'on peut ajouter de nouveaux postes, toujours avec la règle des 50%. Ici, il faut ajouter dans l'îlot les postes CO3 (50%), puis CU3 (100%), puis TCN1 (50%). On recommence alors avec les produits, ce qui permet d'ajouter P11 (100%). Ne pouvant plus ajouter des postes ou des produits dans cet îlot, il faut changer de couleur ou de type de trait pour créer un deuxième îlot en partant du produit ayant le plus fort trafic (P10 ici).

	CO1	CO2	CO3	CU1	CU2	CU3	CU4	CU5	CU6	TCN1	TCN2	TR1	TR2	TR3	Trafic
P01		4						3	5					2	4000
P02	5			4		2						3			500
P03	4							2		3					4500
P04		3												2	90
P05	5			4				2				3			15000
P06								3	4		2				2800
P07			5	4				2				3			1000
P08					2		3						4	5	1800
P09									3		2				6000
P10		5			4								3	2	13500
P11	4		3							2					2200
P12		5			2		4						3		2250
P13		3						4	5		2				2250

Figure 14.17 – Premier îlot trouvé avec la méthode de Kusiak

Dans cet exemple, la méthode de Kusiak conduit à créer trois îlots. Pour présenter le résultat, il suffit de trier les lignes et les colonnes dans l'ordre des numéros d'îlot. On remarquera que certains produits, comme le produit P01, devront passer dans plusieurs îlots lors de leur réalisation. Parfois, les îlots trouvés sont petits et pas entièrement distincts des autres (cas de l'îlot 2 et 3). Dans ce cas, on peut éventuellement regrouper plusieurs petits îlots en un seul.

	CO1	CO3	CU1	CU3	CU5	TCN1	TR1	CO2	CU2	CU4	TR2	TR3	CU6	TCN2	Trafic
P02	5		4	2			3								500
P03	4				2	3									4500
P05	5		4		2		3								15000
P07		5	4		2		3								1000
P11	4	3				2									2200
P01					3			4				2	5		4000
P04								3				2			90
P08									2	3	4	5			1800
P10								5	4		3	2			13500
P12								5	2	4	3				2250
P06					3								4	2	2800
P09													3	2	6000
P13					4			3					5	2	2250

Figure 14.18 – Les trois îlots trouvés avec la méthode de Kusiak

6.2.2. *Méthode de King*[1]

La méthode de King est un algorithme de diagonalisation de matrice. Cette méthode consiste à créer la matrice des gammes, en indiquant par un **1** l'utilisation du poste par le produit, ou par un **0** ou un blanc, la non-utilisation. Pour le premier tableau (T1) on remplira la ligne « Poids » avec les puissances successives de 2 (2^0 = 1, 2^1 = 2, 2^2 = 4, 2^3 = 8, etc.). Ceci permettra de calculer pour chaque ligne de la matrice un équivalent décimal au nombre binaire. Exemple : pour P01, le nombre binaire est 0100000110000111 et le nombre décimal équivalent est : 16384 + 256 + 128 + 4 + 2 + 1 = 16775.

T1	CO1	CO2	CO3	CU1	CU2	CU3	CU4	CU5	CU6	TCN1	TCN2	TR1	TR2	TR3	MP	PF	Décimal
P01		1						1	1					1	1	1	16775
P02	1			1		1						1			1	1	37907
P03	1							1		1					1	1	33091
P04		1												1	1	1	16391
P05	1			1				1				1			1	1	37139
P06								1	1		1				1	1	419
P07			1	1				1				1			1	1	12563
P08					1		1						1	1	1	1	2575
P09									1		1				1	1	163
P10		1			1								1	1	1	1	18447
P11	1		1							1					1	1	41027
P12		1			1		1						1		1	1	18955
P13		1						1	1		1				1	1	16803
Poids	32768	16384	8192	4096	2048	1024	512	256	128	64	32	16	8	4	2	1	

Figure 14.19 – Première étape de la méthode de King

1. JR KING, Rank Order Clustering Algorithm.

Il faut ensuite trier les lignes de la matrice du plus grand nombre décimal au plus petit.

T2	CO1	CO2	CO3	CU1	CU2	CU3	CU4	CU5	CU6	TCN1	TCN2	TR1	TR2	TR3	MP	PF	Décimal
P11	1		1							1					1	1	41027
P02	1			1		1						1			1	1	37907
P05	1			1				1				1			1	1	37139
P03	1							1		1					1	1	33091
P12		1			1		1						1		1	1	18955
P10		1			1								1	1	1	1	18447
P13		1						1	1		1				1	1	16803
P01		1						1	1					1	1	1	16775
P04		1												1	1	1	16391
P07			1	1				1				1			1	1	12563
P08					1		1						1	1	1	1	2575
P06								1	1		1				1	1	419
P09									1		1				1	1	163
Poids	32768	16384	8192	4096	2048	1024	512	256	128	64	32	16	8	4	2	1	

Figure 14.20 – Tri des lignes

On fait la même opération avec les colonnes : on inscrit les puissances successives de 2 dans la dernière colonne, et on calcule l'équivalent décimal de chaque colonne dans la dernière ligne.

T3	CO1	CO2	CO3	CU1	CU2	CU3	CU4	CU5	CU6	TCN1	TCN2	TR1	TR2	TR3	MP	PF	Poids
P11	1		1							1					1	1	4096
P02	1			1		1						1			1	1	2048
P05	1			1				1				1			1	1	1024
P03	1							1		1					1	1	512
P12		1			1		1						1		1	1	256
P10		1			1								1	1	1	1	128
P13		1						1	1		1				1	1	64
P01		1						1	1					1	1	1	32
P04		1												1	1	1	16
P07			1	1				1				1			1	1	8
P08					1		1						1	1	1	1	4
P06								1	1		1				1	1	2
P09									1		1				1	1	1
Déci.	7680	496	4104	3080	388	2048	260	1642	99	4608	67	3080	388	180	8191	8191	

Figure 14.21 – Deuxième étape de la méthode de King

Il faut ensuite trier les colonnes de la matrice du plus grand nombre décimal au plus petit.

T4	MP	PF	CO1	TCN1	CO3	CU1	TR1	CU3	CU5	CO2	CU2	TR2	CU4	TR3	CU6	TCN2	Poids
P11	1	1	1	1	1												4096
P02	1	1	1			1	1	1									2048
P05	1	1	1			1	1		1								1024
P03	1	1	1	1					1								512
P12	1	1								1	1	1	1				256
P10	1	1								1	1	1		1			128
P13	1	1							1	1					1	1	64
P01	1	1							1	1				1	1		32
P04	1	1								1				1			16
P07	1	1			1	1	1		1								8
P08	1	1									1	1	1	1			4
P06	1	1							1						1	1	2
P09	1	1													1	1	1
Déci	8191	8191	7680	4608	4104	3080	3080	2048	1642	496	388	388	260	180	99	67	

Figure 14.22 – Tri des colonnes

La méthode est itérative et continue donc par un nouveau tri des lignes, puis des colonnes, etc. La méthode s'arrête lorsque, lors d'un calcul d'équivalent décimal, on tombe sur un tableau déjà trié. C'est le cas dans l'exemple avec le tableau T11, où l'on voit bien l'effet de la diagonalisation.

T11	MP	PF	CO1	TCN1	CO3	CU5	CU1	TR1	CU3	CU6	CO2	TR3	TCN2	CU2	TR2	CU4	Poids
P11	1	1	1	1	1												4096
P03	1	1	1	1		1											2048
P05	1	1	1			1	1	1									1024
P02	1	1	1				1	1	1								512
P07	1	1			1	1	1	1									256
P01	1	1				1				1	1	1					128
P13	1	1				1				1	1		1				64
P06	1	1				1				1			1				32
P09	1	1								1			1				16
P10	1	1									1	1		1	1		8
P04	1	1									1	1					4
P12	1	1									1			1	1	1	2
P08	1	1										1		1	1	1	1
Déci	8191	8191	7680	6144	4352	3552	1792	1792	512	240	206	141	112	11	11	3	

Figure 14.23 – Dernier tableau de la méthode de King

Dans le cas présent, on devine deux îlots mais le poste CU5 est utilisé par les produits P03, P05 et P07 qui sont dans le premier îlot, et aussi par les produits P01, P13 et P06 qui sont dans le second îlot. Si le taux de charge du poste CU5 et le coût d'achat le permettent, il est évident qu'il faudrait doubler ce poste. Mais même si ce n'est pas le cas, pour l'étude séparée des îlots, on peut remplacer temporairement CU5 par deux postes : CU5' et CU5''.

T11	MP	PF	CO1	TCN1	CO3	CU5'	CU1	TR1	CU3	CU5''	CU6	CO2	TR3	TCN2	CU2	TR2	CU4
P11	1	1	1	1	1												
P03	1	1	1	1		1											
P05	1	1	1			1	1	1									
P02	1	1	1				1	1	1								
P07	1	1			1	1	1	1									
P01	1	1								1	1	1	1				
P13	1	1								1	1	1		1			
P06	1	1								1	1			1			
P09	1	1									1			1			
P10	1	1										1	1		1	1	
P04	1	1										1	1				
P12	1	1										1			1	1	1
P08	1	1											1		1	1	1

Îlot n° 2

Îlot n° 1

Figure 14.24 – Les deux îlots trouvés avec la méthode de King

Remarque : si l'on commence par les colonnes au lieu de commencer par les lignes, alors le résultat peut être différent. Pour la suite, on conservera les deux îlots trouvés ci-dessus.

6.3. Mise en ligne

Chaque fois que dans une entreprise on pourra mettre en ligne les moyens de production, il est évident que les flux seront plus clairs, plus efficaces, probablement aussi plus courts. Le ratio de tension des flux sera meilleur (RTF : voir paragraphe 8.2). Deux méthodes permettent de rechercher une mise en ligne : la méthode des antériorités (qui ne fonctionne pas dans tous les cas de figure) et la méthode des rangs moyens.

6.3.1. Méthode des antériorités

La méthode des antériorités permet de rechercher une mise en ligne en construisant une implantation fondée sur les antériorités de chaque poste.

Si l'on prend l'exemple du premier îlot, nous avons les gammes suivantes :

Produit	P02	P03	P05	P07	P11
Phase	Gamme				
10	MP	MP	MP	MP	MP
20	CU3	CU5'	CU5'	CU5'	TCN1
30	TR1	TCN1	TR1	TR1	CO3
40	CU1	CO1	CU1	CU1	CO1
50	CO1	PF	CO1	CO3	PF
60	PF		PF	PF	

Figure 14.25 – Les produits et les gammes de l'îlot n° 1

Pour la recherche de la mise en ligne nous n'allons pas prendre en compte les magasins de stockage (MP et PF) car ils ne font pas partie de l'îlot n° 1 (on aurait pu, comme pour CU5, dédoubler les magasins pour intégrer ceux-ci dans les îlots).

À partir des gammes, on doit créer le tableau des antériorités. Pour chaque poste considéré, il s'agit de mentionner les postes directement antérieurs dans les gammes.

Exemple : dans la gamme de P02, le poste TR1 a comme poste antérieur le poste CU3.

Postes	CO1	TCN1	CO3	CU5'	CU1	TR1	CU3
Postes directement antérieurs	CU1 TCN1 CO3	CU5'	CU1 TCN1		TR1	CU3 CU5'	
Rang				1			1

Figure 14.26 – Tableau des antériorités : première étape

Les postes CU5' et CU3 n'ayant pas d'antériorité, on les place en tête de ligne (rang 1) puis on raye dans le tableau les postes CU5' et CU3. On recherche ensuite les nouveaux postes sans antériorité (TR1 et TCN1) que l'on place en seconde position dans la ligne (rang 2), puis on raye les postes TCN1 et TR1.

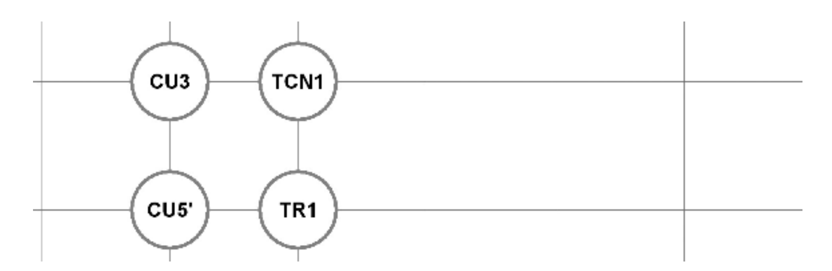


Figure 14.27 – Début de la mise en ligne

Postes	CO1	TCN1	CO3	CU5'	CU1	TR1	CU3
Postes directement antérieurs	CU1 ~~TCN1~~ CO3	~~CU5'~~	CU1 ~~TCN1~~		~~TR1~~	~~CU3~~ ~~CU5'~~	
Rang		2		1		2	1

Figure 14.28 – Tableau des antériorités : deuxième étape

On continue ainsi en ajoutant au rang 3 le poste CU1, puis au rang 4 le poste CO3, et enfin au rang 5 le poste CO1.

Postes	CO1	TCN1	CO3	CU5'	CU1	TR1	CU3
Postes directement antérieurs	~~CU1~~ ~~TCN1~~ CO3	~~CU5'~~	~~CU1~~ ~~TCN1~~		~~TR1~~	~~CU3~~ ~~CU5'~~	
Rang	5	2	4	1	3	2	1

Figure 14.29 – Tableau des antériorités : fin de la méthode

Dans ce cas, la méthode des antériorités conduit à la mise en ligne ci-dessous. Les flux ont été tracés pour juger du résultat, et éventuellement proposer des améliorations.

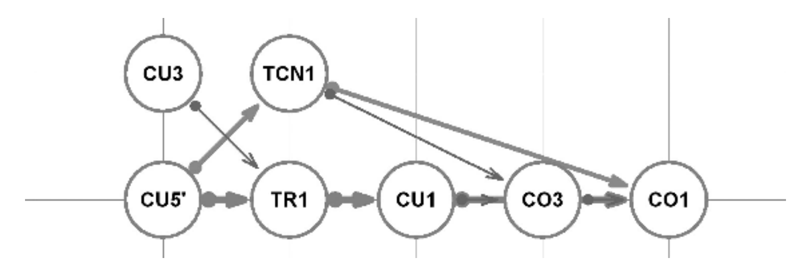


Figure 14.30 – Mise en ligne obtenue par la méthode des antériorités

Une modification de la ligne s'impose car certains trafics sont trop longs.

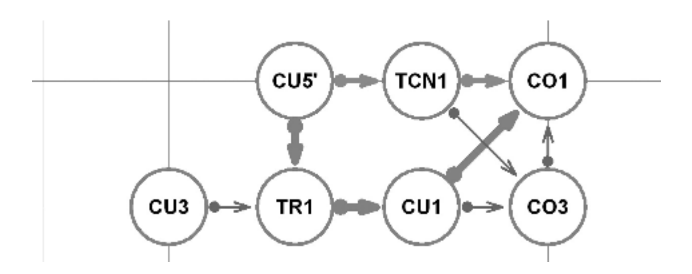


Figure 14.31 – Mise en ligne après amélioration

Remarque : si deux postes sont antérieurs l'un de l'autre, alors il suffit de les placer ensemble au même rang pour débloquer la situation. En revanche, il arrive que dans certains cas, la méthode des antériorités échoue en raison de flux trop complexes. C'est dans ce cas-là que l'on peut essayer une mise en ligne par la méthode des rangs moyens.

6.3.2. Méthode des rangs moyens

Reprenons le cas de l'îlot n° 1. La méthode des rangs moyens part du tableau des gammes (produits et postes de l'îlot considéré). Les numéros d'opérations sont mentionnés dans le tableau en partant de 2, car ici l'opération n° 1 pour tous les produits est une sortie magasin matière MP et celui-ci n'est pas dans l'îlot n° 1.

	CO1	CO3	CU1	CU3	CU5	TCN1	TR1
P02	5		4	2			3
P03	4				2	3	
P05	5		4		2		3
P07		5	4		2		3
P11	4	3				2	
Rang moyen	4.5	4	4	2	2	2.5	3

Figure 14.32 – Tableau des gammes avec calcul des rangs moyens

Après calcul du rang moyen de chaque poste, il s'agit ensuite de placer les postes du plus petit rang au plus grand. Les postes ayant le même rang seront placés l'un au-dessus de l'autre.

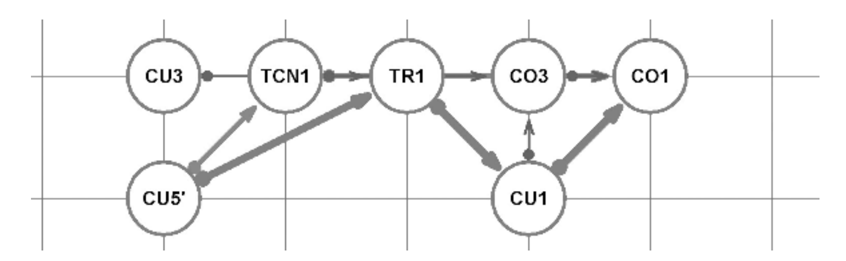


Figure 14.33 – Mise en ligne obtenue par la méthode des rangs moyens

Comme pour la méthode des antériorités, une modification de la ligne s'impose car certains trafics sont trop longs.

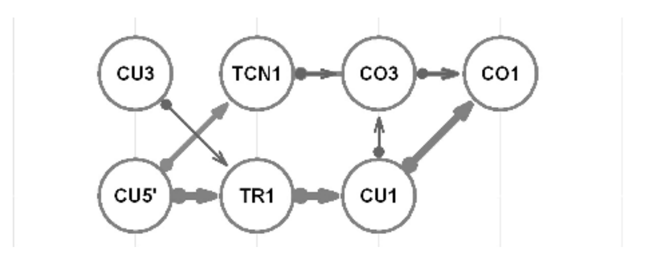


Figure 14.34 – Mise en ligne après amélioration

Remarque : cette méthode n'est à utiliser que si la méthode des antériorités n'a pas fonctionné. Dans notre exemple, la mise en ligne proposée par la méthode des antériorités et modifiée par nos soins, était quasi parfaite (flux orientés de la gauche vers la droite avec flux rouges courts, flux bleus courts et même flux verts courts) ; il était donc inutile de faire la méthode des rangs moyens.

6.4. Optimisation des flux

Lorsque l'on traite un îlot (ou une usine entière) et que la mise en ligne s'avère impossible alors il faut rechercher une optimisation des distances à parcourir, c'est-à-dire raisonner sur les trafics qui relient les postes deux à deux (méthode des chaînons). Une autre possibilité est de rechercher une optimisation du placement des postes en fonction de contraintes de proximités ou d'éloignements (méthode des proximités ou SLP).

6.4.1. Méthode des chaînons

Pour effectuer la méthode des chaînons, il faut d'abord remplir la matrice d'intensité des trafics. Il faudra donc avoir réfléchi à une unité homogène et

représentative du trafic qui existe entre les postes. Suivant les cas, il pourra s'agir du nombre de produits fabriqués par semaine (par mois, par jour, par an…) ou alors du nombre de palettes ou de caisses qui circulent, ou encore du nombre de produits pondéré par un critère qui représente la difficulté de manutention dans le cas de produits assez différents (poids, volume, coût de la manutention). Dans notre exemple, afin de comparer les produits sur un critère pertinent lié à la manutention, il a été choisi de calculer le nombre de kilogrammes qui circulent chaque semaine (Trafic = Quantité × Poids unitaire).

Nous allons ici traiter le cas de l'îlot n° 2. Cet îlot ne peut pas être implanté en ligne, car la méthode des proximités ne fonctionne pas et la méthode des rangs moyens ne donne pas un résultat satisfaisant. On va donc appliquer la méthode des chaînons sur cet îlot.

On trouvera ci-dessous les produits et leur indice de trafic, ainsi que les gammes de l'îlot n° 2.

Produit	P01	P04	P06	P08	P09	P10	P12	P13
Trafic	4000	90	2800	1800	6000	13500	2250	2250
Phases	Gammes							
10	MP	MP	MP	MP	MP	MP	MP	MP
20	TR3	TR3	TCN2	CU2	TCN2	TR3	CU2	TCN2
30	CU5''	CO2	CU5''	CU4	CU6	TR2	TR2	CO2
40	CO2	PF	CU6	TR2	PF	CU2	CU4	CU5''
50	CU6		PF	TR3		CO2	CO2	CU6
60	PF			PF		PF	PF	PF

Figure 14.35 – Produits, trafics et gammes de l'îlot n° 2

Les magasins MP et PF ne faisant pas partie de l'îlot n° 2, et compte tenu des gammes de fabrication et du trafic engendré par les produits, voici ci-après la matrice d'intensité des trafics.

Lecture de la matrice : le chiffre **5050** veut dire que 5050 kg par semaine circulent du poste CU5'' vers le poste CU6. Ce chiffre de 5050 vient de la gamme de P06 (2800 kg/semaine) et de la gamme de P13 (2250 kg/semaine).

		de							
vers		CO2	CU2	CU4	CU5"	CU6	TCN2	TR2	TR3
	CO2		13500	2250	4000		2250		90
	CU2							13500	
	CU4		1800					2250	
	CU5"	2250					2800		4000
	CU6	4000			5050		6000		
	TCN2								
	TR2		2250	1800					13500
	TR3							1800	

Figure 14.36 – Matrice d'intensité des trafics de l'îlot n°2

Pour trouver l'implantation théorique de l'îlot, il faut partir des chiffres les plus élevés de la matrice (13500 dans notre exemple) et positionner progressivement les postes sur une grille. On cochera dans la matrice au fur et à mesure les trafics matérialisés sur le graphe.

		de							
vers		CO2	CU2	CU4	CU5"	CU6	TCN2	TR2	TR3
	CO2		13500 X	2250	4000		2250		90 X
	CU2							13500 X	
	CU4		1800					2250	
	CU5"	2250					2800		4000
	CU6	4000			5050		6000		
	TCN2								
	TR2		2250 X	1800					13500 X
	TR3							1800 X	

Figure 14.37 – Matrice intermédiaire d'intensité des trafics

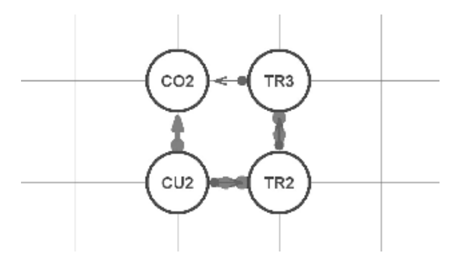


Figure 14.38 – Début de l'implantation théorique

Pour continuer, le chiffre le plus important étant de 6000 kilos/semaine, il faut placer TCN2 à côté de CU6 sachant que ces deux postes ont des liaisons avec CO2.

	de							
vers		CO2	CU2	CU4	CU5"	CU6	TCN2	TR2	TR3
	CO2		13500 X	2250	4000		2250 X		90 X
	CU2							13500 X	
	CU4		1800					2250	
	CU5"	2250					2800		4000
	CU6	4000 X			5050		6000 X		
	TCN2								
	TR2			1800					13500 X
	TR3							1800 X	

Figure 14.39 – Matrice intermédiaire d'intensité des trafics

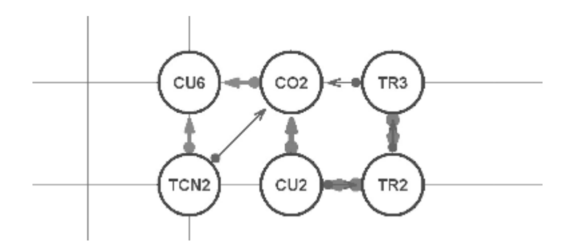


Figure 14.40 – Poursuite de l'implantation théorique

Ensuite, il faut placer CU5'' proche de CU6, CO2 et TR3.

	de								
vers		CO2	CU2	CU4	CU5"	CU6	TCN2	TR2	TR3
	CO2		13500 X	2250	4000 X		2250 X		90 X
	CU2							13500 X	
	CU4		1800					2250	
	CU5"	2250 X					2800 X		4000 X
	CU6	4000 X			5050 X		6000 X		
	TCN2								
	TR2			1800					13500 X
	TR3							1800 X	

Figure 14.41 – Matrice intermédiaire d'intensité des trafics

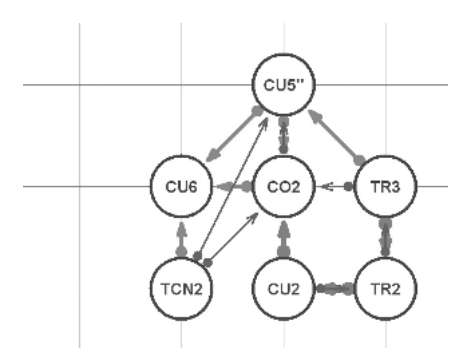


Figure 14.42 – Poursuite de l'implantation théorique

Enfin, il faut placer le poste CU4 proche de CU2, TR2 et CO2. Comme c'est le dernier poste placé, il est difficile de trouver une position optimisant les flux, mais comme c'est justement le dernier poste placé, les trafics sont donc les plus faibles (c'est le principe de la méthode des chaînons). Il est possible ensuite de modifier la disposition des postes pour raccourcir encore certains trafics.

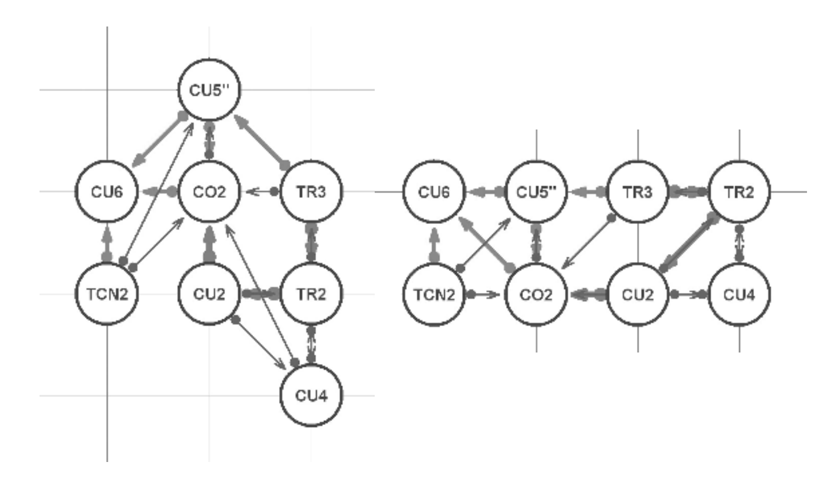


Figure 14.43 – Implantation théorique trouvée avec la méthode des chaînons

Remarques : dans cette implantation théorique, l'épaisseur des flèches dépend de l'intensité des trafics. La méthode des chaînons n'est pas déterministe : il peut y avoir plusieurs résultats possibles en fonction des choix de position effectués en cours de placement.

Variantes :

- raisonnement dans la matrice en nombre de chaînons plutôt qu'en trafic : peut-être utile si l'on n'arrive pas à quantifier les trafics ;

- matrice triangulaire ne prenant pas en compte le sens du trafic : mais il serait dommage de perdre cette information ;
- calcul sur la diagonale des trafics arrivant à un poste et partant d'un poste : peut permettre de donner un ordre pour le placement progressif des postes.

6.4.2. Méthode des proximités

Cette méthode permet de rechercher une implantation théorique en fonction de contraintes de proximité ou d'éloignement. Ces contraintes concernent des postes de travail mais on peut aussi, dans certains cas, prendre en compte, en plus des secteurs de production, des bureaux, des magasins, des portes d'entrée, des parkings, etc.

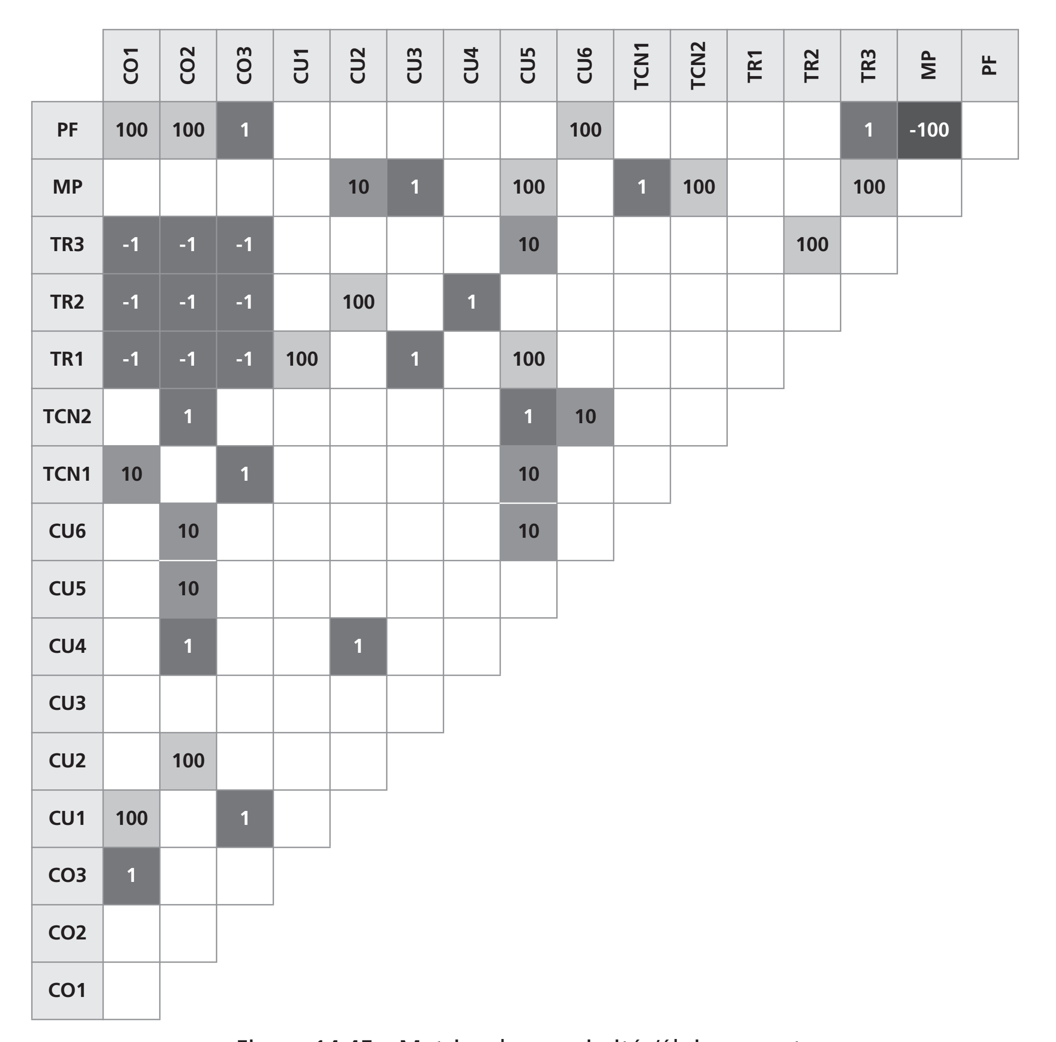
Les degrés de proximité ou d'éloignement peuvent être exprimés différemment et seront trouvés en réalisant des interviews de toutes les personnes concernées par l'usine ou l'atelier que l'on souhaite réimplanter.

- Les contraintes de proximité peuvent provenir des flux de production (gammes de fabrication) mais aussi de déplacement de personnel, de partage d'information, etc.
- Les contraintes d'éloignement peuvent provenir du bruit, des vibrations ou encore des risques chimiques ou autres nuisances.

Contraintes	Identifiant	Pondération
Proximité très importante	PPP	100
Proximité importante	PP	10
Proximité peu importante	P	1
Pas de contrainte		0
Éloignement peu important	E	– 1
Éloignement important	EE	– 10
Éloignement très important	EEE	– 100

Figure 14.44 – Les contraintes de proximité et d'éloignement

Pour illustrer cette méthode, nous allons considérer de façon globale l'usine que nous avons à réimplanter. La matrice des proximité et éloignement a été remplie en fonction des gammes de fabrication et de l'importance des trafics. Puis, des contraintes d'éloignement ont été ajoutées : d'une part, entre MP et PF (pour bien séparer les magasins), et d'autre part, entre les postes de contrôle et les machines transferts (car celles-ci vibrent parfois, ce qui peut être gênant pour le contrôle des pièces).



	CO1	CO2	CO3	CU1	CU2	CU3	CU4	CU5	CU6	TCN1	TCN2	TR1	TR2	TR3	MP	PF
PF	100	100	1						100					1	-100	
MP					10	1		100		1	100			100		
TR3	-1	-1	-1					10					100			
TR2	-1	-1	-1		100		1									
TR1	-1	-1	-1	100		1		100								
TCN2		1						1	10							
TCN1	10		1					10								
CU6		10						10								
CU5		10														
CU4		1			1											
CU3																
CU2		100														
CU1	100		1													
CO3	1															
CO2																
CO1																

Figure 14.45 – Matrice des proximités/éloignements

À partir de cette matrice, comme pour la méthode des chaînons, on va placer les postes progressivement en commençant par les contraintes de proximité les plus fortes, tout en faisant attention à respecter les contraintes d'éloignement. Dans notre exemple, cela pourrait conduire à la disposition de la figure 14.46.

Pour comparer différentes solutions, on peut calculer un indice global de disposition en multipliant la longueur de chaque flux par la pondération liée aux contraintes de proximité ou d'éloignement. L'indice global le plus petit indique la meilleure solution (l'indice vaut 6870 pour l'exemple ci-dessus).

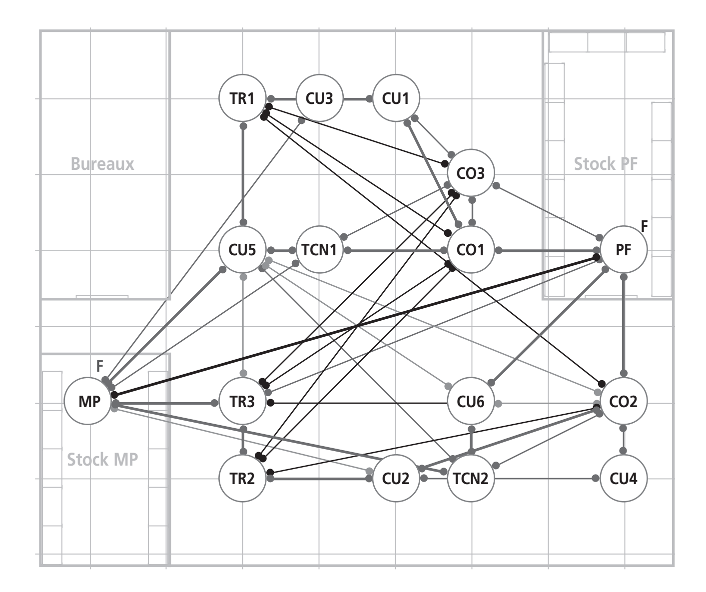


Figure 14.46 – Implantation théorique par la méthode des proximités/éloignements

Remarque : la méthode SLP[1] (*System Layout Planning*) fonctionne aussi sur ce principe.

Contraintes	Identifiant	Pondération
Proximité absolument nécessaire (*absolutely necessary*)	A	10
Proximité spécialement importante (*especially important*)	E	7
Proximité importante (*important*)	I	5
Proximité ordinaire (*ordinary*)	O	2
Sans importance (*unimportant*)	U	0
Éloignement spécialement important	X	– 3
Éloignement absolument nécessaire	Z	– 10

Figure 14.47 – Les niveaux de contrainte de la méthode SLP

1. Pour une description complète avec un exemple de la méthode SLP, on pourra consulter le document de l'INRS « Implantation des lieux de travail – Prévention des risques professionnels dès la conception », *Cahiers de notes documentaires - Hygiène et sécurité du travail*, n° 174, 1[er] trimestre 1999.

Ces méthodes ont l'avantage de pouvoir fonctionner même si l'on ne dispose pas de gamme de fabrication, par exemple lorsqu'on fabrique des produits variés non récurrents.

7. Étape 5 : Propositions

7.1. Proposition théorique

Lorsqu'on a réussi à identifier des îlots et que pour chacun d'eux on a pu trouver une implantation théorique performante, il reste ensuite à proposer une implantation théorique pour l'ensemble de l'usine. Il faut donc positionner les différents îlots trouvés dans le bâtiment et regrouper les éventuels postes qui avaient été dédoublés temporairement pour l'étude (CU5 dans notre cas). Il faut prendre garde dans les implantations théoriques à laisser de la place pour les futures allées de circulation qui permettront d'accéder aux différents postes.

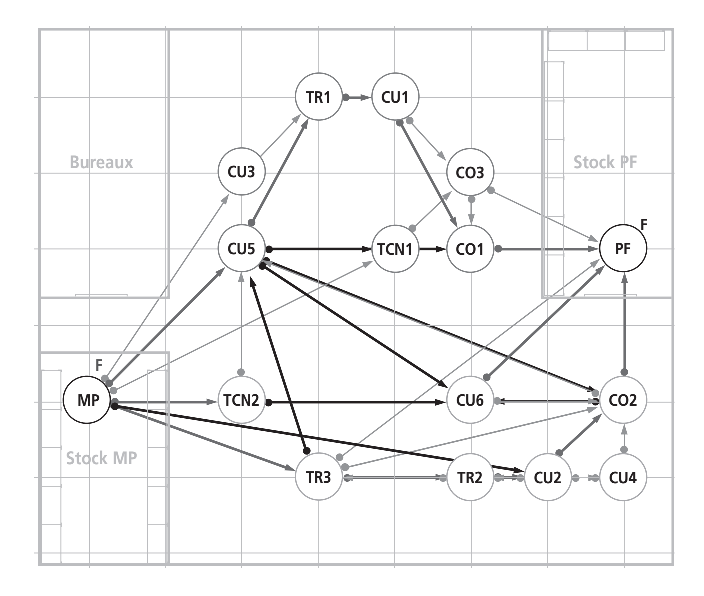


Figure 14.48 – Implantation théorique finale après disposition des îlots

7.2. Calcul de la surface

Lorsque l'on a besoin d'agrandir une usine ou d'en construire une nouvelle, la méthode empirique de Guerchet peut aider pour déterminer le besoin en surface.

Pour calculer la surface d'un atelier, il faut prendre en compte pour chaque poste de travail :

- Sp : surface propre de la machine.
- Sg : surface de gravitation pour les mouvements de l'opérateur.
- Se : surface d'évolution pour prendre en compte les allées de circulation.
- Ss : surface de stockage des en-cours à côté des machines.

Surface totale pour un poste (St) = Sp + Sg + Se + Ss

Éléments de calcul :

Sg = Sp × N où N est le nombre de côtés par lesquels on doit desservir la machine.

Se = (Sp + Sg) × K où K dépend du type d'entreprise :

- K = 0,05 à 0,15 pour les grosses industries avec pont roulant, portique.
- K = 0,1 à 0,25 pour la manutention par chaîne ou convoyeur.
- K = 0,75 à 1 pour les entreprises horlogères.
- K = 1,5 à 2 pour la petite mécanique.
- K = 2 à 3 pour la grosse mécanique.

Ss = surface nécessaire pour le stockage des en-cours habituels.

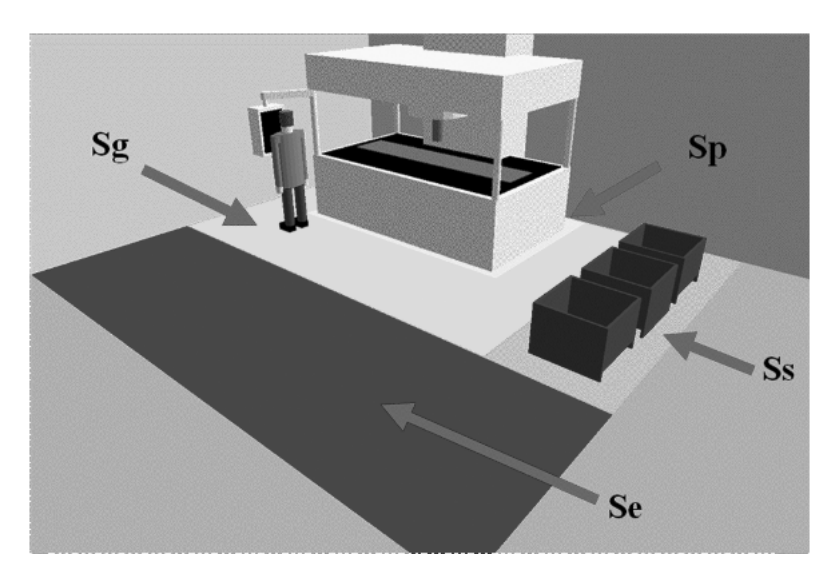


Figure 14.49 – Les surfaces de la méthode de Guerchet

Après cumul des surfaces nécessaires pour chaque poste, il suffit de rajouter les surfaces des magasins de stockage, des bureaux, des locaux sociaux, des sanitaires pour avoir une idée de la surface totale de l'usine. Il est sans doute préférable pour la pérennité de l'usine que l'on agrandit ou construit, de prendre plus grand que le résultat de la méthode de Guerchet.

7.3. Mise en plan

Une fois obtenue une implantation théorique, il faut proposer un ou plusieurs plans pour la future implantation. Traditionnellement, cette étape de mise en plan se fait à l'aide d'un plan papier grand format de l'usine sur lequel on colle des maquettes découpées des machines. Cette approche permet de travailler en groupe directement autour du plan ou des plans. En revanche, elle devient vite fastidieuse lorsque l'on veut tracer les flux, car à chaque changement de la position d'un poste il faut tout recommencer. Il est donc intéressant pour ces mises en plan d'utiliser un logiciel qui permettra plus facilement de créer plusieurs variantes, tout en permettant d'animer le groupe de travail (vidéo projection).

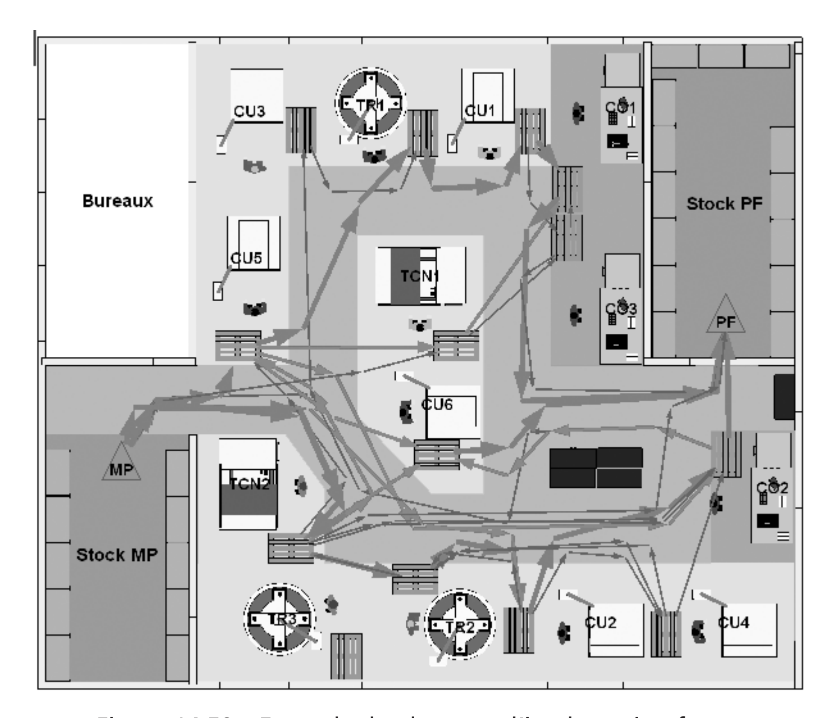


Figure 14.50 – Exemple de plan pour l'implantation future

8. Étape 6 : Valorisation

8.1. Longueur des flux

En implantation d'atelier, le critère souvent le plus important est la réduction des longueurs des trajets. On peut calculer la longueur des trajets dans l'implantation actuelle et la longueur des trajets dans l'implantation future, et calculer le gain. Mais cette comparaison ne prend pas en compte l'indice de trafic qui peut être différent suivant les trajets. Il est donc plus intéressant de tenir compte à la fois de la longueur des trajets ET du trafic. Cela donne lieu à un calcul de gain plus pertinent.

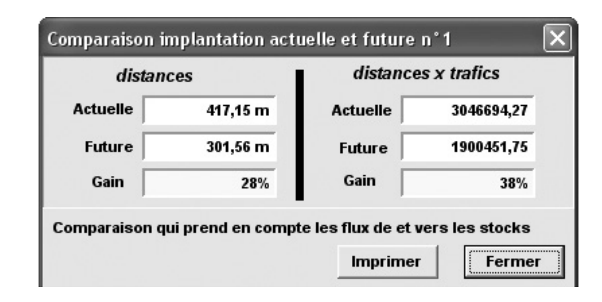


Figure 14.51 – Gain avec ou sans prise en compte des trafics

8.2. REP/RTF

Le ratio d'efficacité du processus (REP), appelé aussi ratio de tension des flux (RTF), permet de déterminer le rapport entre le temps de présence d'un lot de produits dans le système et le temps pendant lequel une valeur ajoutée a été apportée au produit.

$$\text{REP} = \text{RTF} = \frac{\text{Temps de production d'un produit}}{\text{Durée totale de passage d'un lot de produit}}$$

Le REP ou RTF est l'indicateur majeur du *Lean Manufacturing* car toutes les non-performances sont intégrées :

- attentes dues aux stocks ;
- attentes dues aux en-cours ;
- attentes dues au temps de réglage ;
- attentes dues aux tailles de lots ;
- durées des contrôles ;
- durées des transports.

Un REP à 100% est sans doute difficilement atteignable car il faudrait une ligne de production parfaitement enchaînée, donc sans stock, avec temps de réglage nul sur tous les postes, fabriquant des produits de bonne qualité sans contrôle et tout cela avec une taille de lot de un produit (*one piece flow*). Néanmoins, tous les chantiers d'amélioration liés à la démarche *Lean* doivent faire progresser le REP.

Si le calcul du REP est très utile pour mesurer les progrès dans le cadre d'une démarche de mise en place du *Lean* qui agira sur tous les facteurs de gaspillage, lorsque l'on ne change que la disposition des postes de travail (réimplantation) il se peut que le REP n'évolue pas significativement (passage de 0,56% à 0,69% par exemple).

8.3. RPF

Le RPF (ratio de performance du flux) est un indicateur ne prenant en compte que les distances.

$$\text{RPF} = \frac{\text{Somme des longueurs des postes de travail}}{\text{Longueur des flux due à l'implantation considérée}}$$

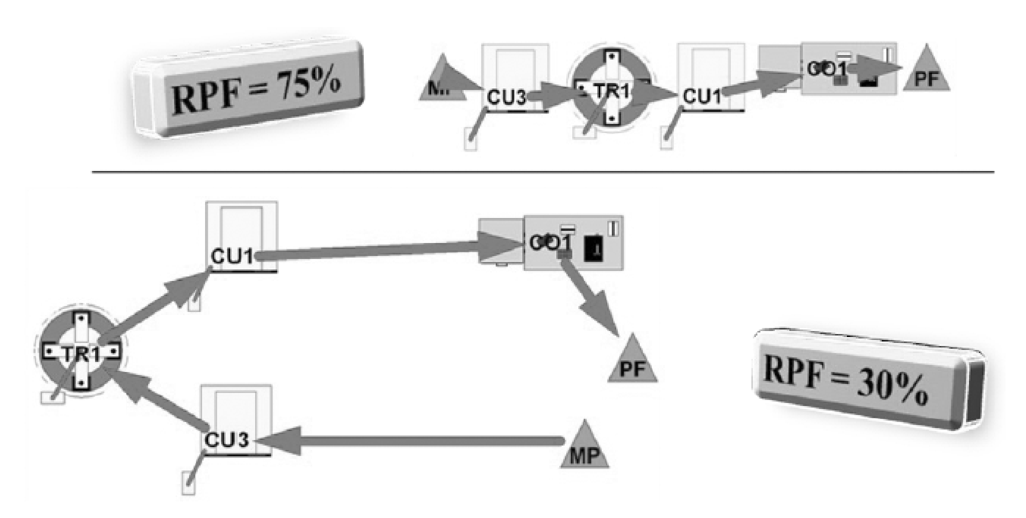


Figure 14.52 – Ratio de performance du flux

Cet indicateur est plus pertinent que le REP pour mesurer les progrès lors d'un projet de réimplantation d'atelier. Par ailleurs, une augmentation du RPF engendre automatiquement une augmentation du REP.

8.4. Analyses forces/faiblesses

Pour valoriser les différentes propositions de réimplantation, il est tout à fait indiqué de réaliser des analyses forces/faiblesses avec les mêmes critères que ceux qui avaient été choisis par l'équipe de projet dès le début du projet. Ceci permettra de voir si l'on a amélioré les points faibles tout en conservant les points forts.

Forces / Faiblesses

Gestion Imprimer Aide

Désignation	-5	-4	-3	-2	-1	0	+1	+2	+3	+4	+5	Poids	Total
Accès maintenance 0.6 m												3	15
Accès palettes												2	8
Allées de 1.8 m												2	10
Allées droites												1	3
Flux clairs												1	2
Flux courts												3	9
Mise en ligne												2	6

Implantation Future n° 1 Valeur de l'implantation 53,00 Imprimer Fermer

Figure 14.53 – Analyse forces/faiblesses de l'implantation future n° 1

La meilleure note indiquera à l'équipe de projet la meilleure solution (attention à l'objectivité de la notation).

Ces analyses forces/faiblesses permettent de prendre en compte des éléments non quantifiables dans les comparaisons de solutions.

8.5. Valorisation financière

Comme pour tout projet d'amélioration, il faut chiffrer le coût de mise en place de chaque solution puis estimer les gains financiers (économies) apportés par chacune des solutions :

Le délai de récupération du capital investi (*pay back period*) de chaque solution sera calculé par la formule suivante :

$$\text{Délai de récupération du capital investi} = \frac{\text{Montant total de l'investissement}}{\text{Gain période de la solution}}$$

Exemple : si un projet nécessite un investissement de 15 000 euros et que les économies réalisées grâce à ce projet sont de 1 500 euros par mois, alors le délai de récupération du capital investi sera de dix mois.

9. Étape 7 : Restitution

Dans cette étape du projet, il faut convaincre le ou les décideurs. Il faudra présenter les différentes solutions avec leurs avantages et inconvénients ainsi que les aspects financiers (coût, délai de récupération du capital investi).

Il faudra aussi convaincre les futurs utilisateurs (notamment les opérateurs) de l'intérêt de la nouvelle implantation proposée. L'intégration dans le groupe de projet de représentants des utilisateurs peut, bien sûr, faciliter cette appropriation.

Des représentations virtuelles, ou même des visites virtuelles des futurs locaux peuvent faciliter cette phase de restitution.

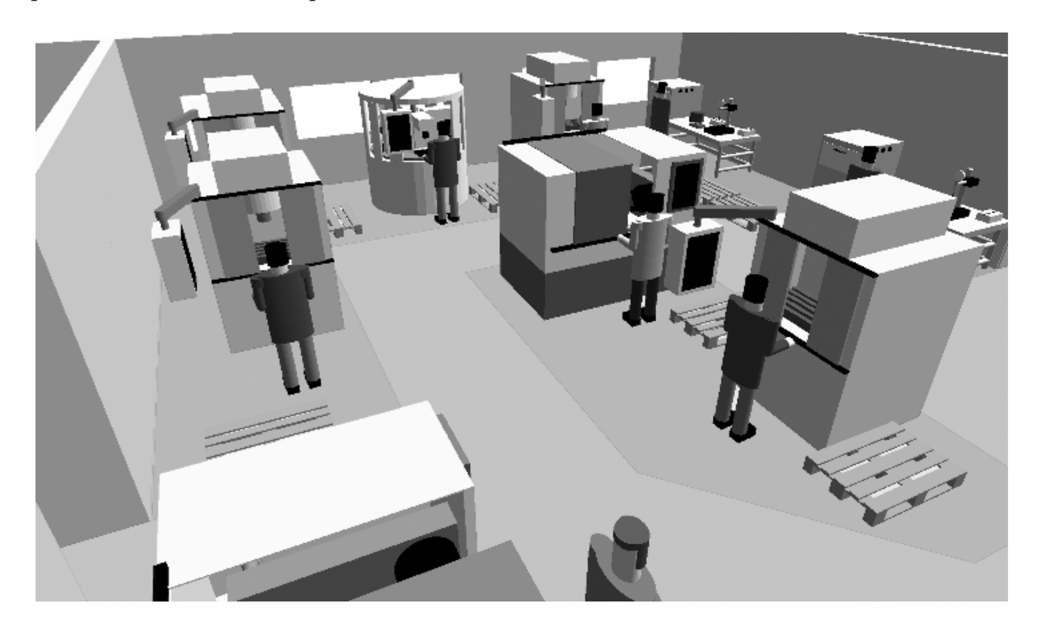


Figure 14.54 – Restitution

10. Étape 8 : Décision

La décision sera prise en fonction des forces et des faiblesses et des différents indicateurs. Seront pris également en compte les coûts et le délai de récupération du capital investi.

Il faut aussi obtenir l'aval du CHSCT pour les entreprises de plus de 50 personnes.

11. Étape 9 : Planification

Suivant l'ampleur des travaux de génie civil et de raccordement et l'importance des machines à déplacer, la réimplantation peut durer une demi-journée ou plusieurs semaines. Si la période choisie pour la réimplantation est une période de production, il faudra anticiper les fabrications et donc planifier longtemps à l'avance.

Si la zone à réimplanter est vaste, il se peut qu'il ne soit pas possible de déplacer toutes les machines en une fois. La réimplantation devra être découpée en phases et planifiée avec les techniques de gestion de projet.

12. Étape 10 : Réalisation

C'est l'étape finale du projet. La réalisation effective de la nouvelle implantation sera effectuée entièrement en interne ou avec l'aide de prestataires… Dans tous les cas, il faudra suivre les différentes étapes de la réimplantation afin d'éviter toute dérive qui pourrait retarder le redémarrage de la production.

13. Les bonnes pratiques

13.1. Séparation des magasins

Outre la mise en ligne, ce qui permet de réduire et de clarifier les flux, c'est la séparation des magasins.

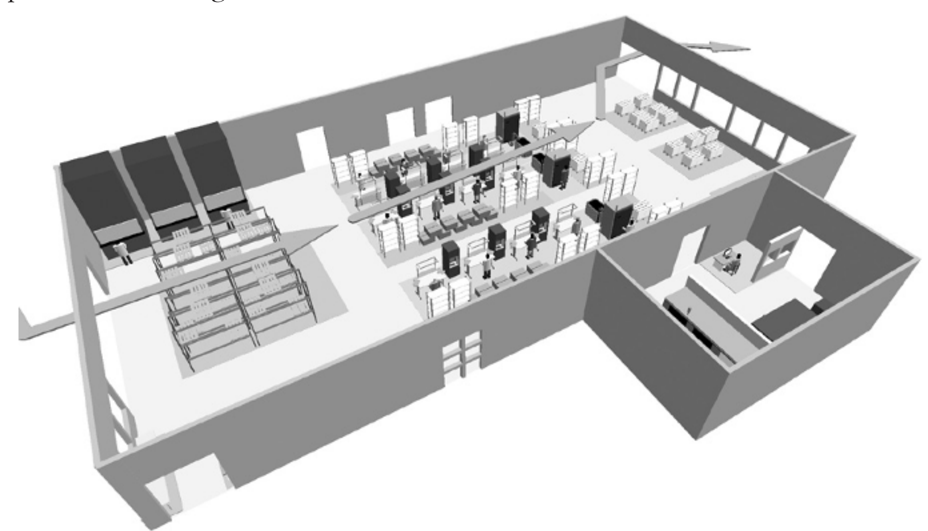


Figure 14.55 – Séparation des magasins

Il s'agit d'abord de séparer le magasin matières premières, du magasin produits finis et de situer, si possible, ces deux magasins aux deux extrémités de l'usine. De cette façon, le flux pourra être orienté dans l'usine.

Mais la séparation concerne aussi la création de magasins au sein des îlots ou des lignes de fabrication. Dans l'exemple que nous avons traité, si l'on avait proposé une modification du bâtiment, nous aurions pu proposer des stockages de matières premières et de produits finis en face de chaque îlot, ce qui aurait amélioré nettement la longueur et la clarté des flux. Un investissement dans un second centre d'usinage CU5 pourrait permettre la séparation totale des deux îlots (possible si le coût n'est pas trop important et si le taux de charge de CU5 le permet).

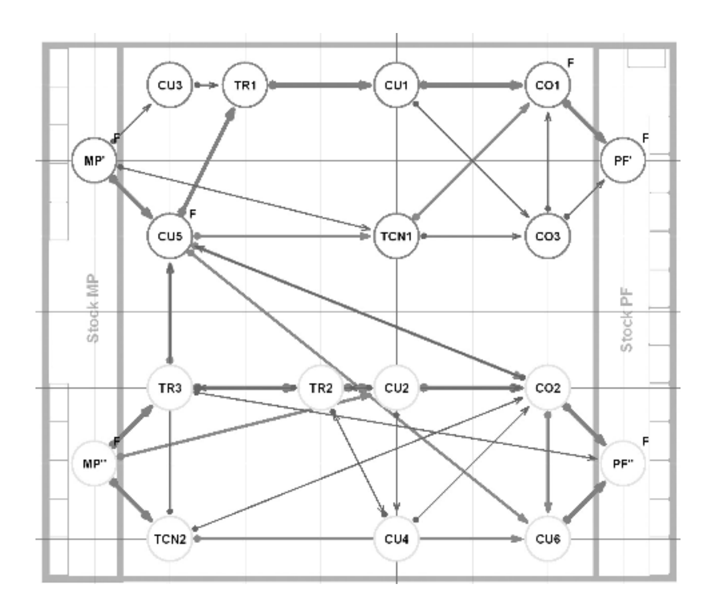


Figure 14.56 – Orientation du flux et séparation des magasins

Si l'on arrive à intégrer les magasins dans les îlots, cela peut conduire à la création de secteurs totalement autonomes dans l'usine, avec des conséquences positives sur la gestion et la mobilisation du personnel. Si, de plus, on arrive à répartir les activités support (industrialisation, logistique, qualité, etc.) dans les secteurs, alors on obtient des mini-usines dans l'usine, plus faciles à gérer.

13.2. Implantation et *Lean Manufacturing*

Le *Lean Manufacturing* incite à construire, partout où c'est possible, des lignes de fabrication ou des cellules implantées en U.

La ligne en U a de nombreux avantages :

- l'implantation en U est une implantation en ligne, donc les flux sont orientés ;
- les opérateurs sont au centre du U permettant un travail en équipe autonome ;
- la modulation de la capacité de la ligne est facile, en jouant sur le nombre d'opérateurs (de un opérateur qui fait toutes les tâches à un opérateur par tâche). C'est le *takt time* qui permet de définir le nombre d'opérateurs ;
- les stocks sont à disposition des opérateurs grâce à des stockeurs dynamiques ;
- le réapprovisionnement des stocks se fait par l'extérieur, ce qui permet de ne pas déranger la production.

Très souvent, le réapprovisionnement des stocks sur les lignes se fait grâce à un petit train qui permet de mettre en place une « tournée du laitier » (*milk run*) : le cariste avec son petit train prend les produits dans le magasin central, puis dépose ces produits dans les stockeurs dynamiques. Il récupère les boîtes vides (pour les remplir et les ramener à la prochaine tournée), ainsi que les produits finis. Il va déposer les produits finis dans l'aire d'expédition, puis va remplir les boîtes vides et repart pour une nouvelle tournée.

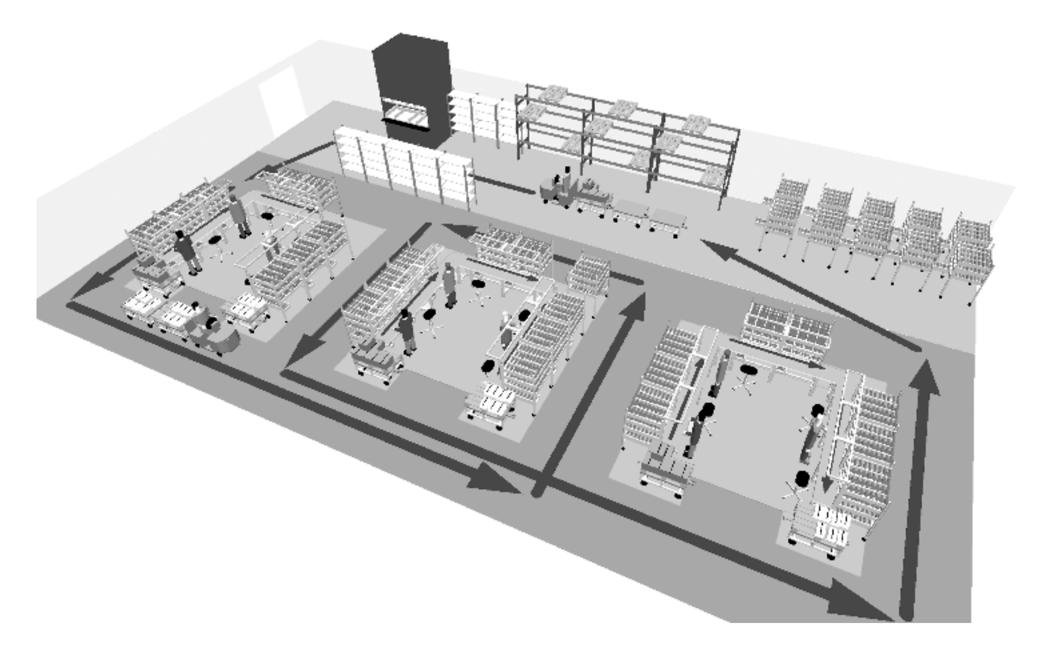


Figure 14.57 – Cellules en U et petit train du *Lean*

14. Remarque

Toutes les méthodes évoquées dans ce chapitre peuvent être mises en œuvre avec IMPACT, le logiciel pour l'implantation d'atelier. On peut aussi utiliser un tableur pour les calculs théoriques et un logiciel de CAO pour la réalisation des plans.

Chapitre 15

Les indicateurs de performance

1. Mesurer autrement

1.1. Introduction

La mise en place de projets d'amélioration, dont nous avons parlé dans les chapitres précédents, pour mettre l'entreprise en mouvement dans le cadre du *Lean Manufacturing*, ne peut se concevoir sans un système de mesures, de mise en place d'indicateurs de performance, permettant de mettre en évidence les résultats obtenus. Le suivi de ces résultats doit permettre de pérenniser ou de remettre en cause certains plans d'action.

Ces résultats se doivent d'être présentés, affichés sous une forme attractive pour les utilisateurs et la communication visuelle se chargera de cela.

Quels que soient les choix effectués, l'entreprise peut retenir la maxime suivante « Pas de progrès sans mesure ».

L'entreprise se doit donc de faire évoluer les instruments de mesure de son système productif. Le système de mesure doit désormais être un outil du pilotage de la production au service de la performance de l'entreprise, et cela passe par la mise en place d'indicateurs de performance et de tableaux de bord.

1.2. Inefficacité des systèmes traditionnels

Souvent, dans les entreprises, ce sont les contrôleurs de gestion qui ont la charge de la mise en place d'indicateurs pertinents au niveau des systèmes de production. Leur méconnaissance totale ou partielle des mécanismes de la

production les amène à faire des erreurs à la fois dans la conception des indicateurs mais aussi dans leur analyse. On ne peut pas leur en vouloir, leur métier est un métier de gestionnaire, ce ne sont, en aucun cas, des spécialistes des problèmes liés à la production. Peter Drucker, l'un des spécialistes de la gestion aux États-Unis les appelle « les compteurs de haricots » car leur métier consiste à savoir compter le mieux possible (et les systèmes de comptage en Occident sont bien souvent complexes), mais pas à savoir analyser les résultats de leur comptage…

L'innovation proposée par les démarches récentes en matière d'indicateurs consiste à faire réaliser et analyser les indicateurs par les utilisateurs, les responsables des résultats obtenus, les personnes qui ont la maîtrise des actions à mener et la maîtrise de l'analyse des résultats obtenus.

2. La notion d'indicateur de performance

2.1. Quelques définitions

Certaines définitions paraissent indispensables pour comprendre comment peut fonctionner un système d'indicateurs liés à la performance dans l'entreprise. Il existe une définition, aujourd'hui largement connue et admise, concernant la notion d'indicateur de performance :

« Un indicateur de performance est une donnée quantifiée qui mesure l'efficacité de tout ou partie d'un processus ou d'un système, par rapport à une norme, un plan ou un objectif qui aura été déterminé et accepté, dans le cadre d'une stratégie d'ensemble. »

Essayons d'expliciter quelque peu cette définition.

Un indicateur de performance est une donnée quantifiée. On fait référence ici à la nécessaire quantification d'un phénomène. Or, tout phénomène dans l'entreprise est-il quantifiable ? Quand on s'intéresse à des délais, des pièces produites, des phénomènes physiques, la quantification ne pose, en général, que peu ou pas de problème. En revanche, quand on fait référence à des phénomènes humains par exemple, la quantification peut poser problème. En particulier, si l'on cherche à mesurer la motivation des personnes sur leur lieu de travail, la pertinence de la mesure est loin d'être évidente. Or, quel peut être l'intérêt d'une mesure qui n'est pas pertinente ? Il faudra être vigilant par rapport à cela.

Un indicateur mesure l'efficacité, donc l'aptitude d'un processus à générer un progrès. Un indicateur est en conséquence indissociable d'une démarche

d'amélioration continue. Mesurer sert au départ à évaluer avec précision la situation dans laquelle on se trouve à un instant donné, mais cela est insuffisant… Mesurer doit servir à prendre des décisions d'action pour l'amélioration. Il peut s'agir d'une amélioration au niveau d'un poste de travail, d'une section d'atelier, d'un atelier, d'une usine, ou de l'entreprise dans sa globalité. Il existe donc des indicateurs de différents niveaux hiérarchiques.

Un indicateur mesure l'efficacité par rapport à une norme, à un plan ou à un objectif déterminé et accepté pour la satisfaction des clients du processus. Il est nécessaire de mobiliser, motiver le personnel de l'entreprise pour qu'il accepte de s'impliquer, de s'engager, sinon le projet aura du mal à avancer.

Un indicateur s'exprime dans le cadre d'une stratégie d'ensemble. Il est nécessaire de vérifier la cohérence de l'ensemble des indicateurs utilisés à tous les niveaux dans l'entreprise. Selon P. Lorino : « Les indicateurs de performance ne doivent pas constituer une mosaïque de logiques locales, mais un système collectif de logiques partielles traduisant une stratégie globale. » Cela nous paraît essentiel. Tous les acteurs de l'entreprise doivent travailler dans la direction définie dans le cadre de la stratégie globale de l'entreprise.

2.2. Les notions d'indicateurs de résultat et d'indicateurs de processus

Les indicateurs de performance tels que nous venons de les définir tentent de recouvrir deux aspects du système de production : un aspect lié aux résultats et un aspect lié aux processus. Pour cela deux catégories d'indicateur peuvent être définies :

- les indicateurs de résultat indiquent le résultat auquel on peut parvenir. Exemple : la quantité produite d'un élément fabriqué par l'entreprise.
- les indicateurs de processus permettent d'exprimer la manière d'obtenir un résultat. (Exemple : pour un indicateur de résultat comme la quantité produite, on aura des indicateurs de processus comme le nombre d'incidents, le nombre de pièces rebutées, le niveau de qualité des composants utilisés…).

Cette distinction est tout à fait intéressante. Dans son ouvrage sur le Kaïzen, M. Imaï montre que les entreprises occidentales ont toujours privilégié les indicateurs de résultat, les entreprises japonaises ceux de processus. M. Greif, dans son ouvrage *L'usine s'affiche* exprime cela d'une manière beaucoup plus imagée en disant : « Les Occidentaux comptent les œufs de la poule, les Japonais s'intéressent à la santé de celle-ci. »

Mais finalement, qu'est-ce qui est le plus intéressant ? Compter les œufs de la poule ou se préoccuper de la santé de celle-ci ?

Les deux éléments semblent être indissociables. On a à la fois besoin de savoir combien, et de comprendre pourquoi.

Comment expliquer qu'encore trop peu d'entreprises occidentales s'intéressent à cette notion d'indicateurs de processus ?

Il semble que l'on sache bien modéliser des états mais mal appréhender des processus. Il est beaucoup plus facile de choisir un indicateur de résultat – on sait de quoi l'on parle –, que d'identifier clairement les éléments qui entrent dans l'obtention de ce résultat et qui sont tout à fait propres à la situation étudiée.

Prenons un exemple : l'entreprise **iTechMedia** rencontre un problème de fiabilité sur une de ses presses à injecter achetée d'occasion il y a cinq ans, la PZW. L'indicateur de résultat pour mesurer le niveau de fiabilité de cette presse ne pose pas de problème particulier. On peut choisir par exemple, le MTBF (moyenne des temps de bon fonctionnement) de cette machine. En ce qui concerne les indicateurs de processus, le choix est beaucoup moins évident… Qu'est-ce qui a un impact réel sur la non-fiabilité de cette presse ?

Nous allons commencer par déterminer les inducteurs de performance (facteurs qui ont une influence sur la performance de notre activité) liés à ce problème de non-fiabilité puis nous allons vérifier que tous ces inducteurs sont des variables d'action, des éléments sur lesquels on peut agir.

ITechMedia : Problème de non-fiabilité sur la presse PZW					
Inducteurs de performance	**Variable d'action ?**				
Âge presse	NON				
Formation opérateurs	OUI				
Environnement inadapté	OUI				
Matière non conforme	OUI				
Maintenance non maîtrisée	OUI				
Outillages non conformes	OUI				
Autres facteurs	NON				

Si certains inducteurs de performance ne sont pas des variables d'action, cela signifie que l'on ne pourra pas agir directement sur eux. Si ces inducteurs se révèlent représenter un élément important de causalité de notre problème, il faudra trouver une solution radicale. Dans notre exemple, si c'est l'âge de la machine qui est l'élément de causalité le plus fort on ne pourra pas intervenir sur l'âge, la solution sera d'acheter une nouvelle machine.

Nous devons définir maintenant le poids de chaque inducteur au niveau de la non-fiabilité de la presse (en observant les éléments de récurrence des différents inducteurs de performance) :

ITechMedia : Problème de non-fiabilité sur la presse PZW					
Inducteurs de performance	**Variable d'action ?**	**Pondération**			
Âge presse	NON	10 %			
Formation opérateurs	OUI	35 %			
Environnement inadapté	OUI	7 %			
Matière non conforme	OUI	30 %			
Maintenance non maîtrisée	OUI	8 %			
Outillages non conformes	OUI	4 %			
Autres facteurs	NON	6 %			

On observe ici deux inducteurs qui sont des variables d'action et qui représentent à eux seuls 65% des éléments de causalité de notre problème.

Nous allons faire le choix de commencer par travailler sur ces deux éléments et mettre en place un plan d'action sur chacun de ces éléments dans une logique QQOQCP (Qui ? Quoi ? Où ? Quand ? Comment ? Pourquoi ?)

ITechMedia : Problème de non-fiabilité sur la presse PZW					
Inducteurs de performance	**Variable d'action ?**	**Pondération**	**Plan d'action QQOQCP**		
Âge presse	NON	10 %			
Formation opérateurs	OUI	35 %	Mise en place d'une formation aux opérateurs concernés		
Environnement inadapté	OUI	7 %			
Matière non conforme	OUI	30 %	Mise en place de contrôles qualité pour les réceptions matières et travail avec les fournisseurs		
Maintenance non maîtrisée	OUI	8 %			
Outillages non conformes	OUI	4 %			
Autres facteurs	NON	6 %			

Ces plans d'action vont déboucher sur le choix d'indicateurs de processus qui vont permettre de mesurer la réussite du plan d'action, donc indirectement l'amélioration de l'indicateur de résultat…

ITechMedia : Problème de non-fiabilité sur la presse PZW					
Inducteurs de performance	**Variable d'action ?**	**Pondération**	**Plan d'action QQOQCP**	**Indicateurs de processus**	**Indicateur de résultat**
Âge presse	NON	10 %			
Formation opérateurs	OUI	35 %	Mise en place d'une formation aux opérateurs concernés	% d'opérateurs formés	

Inducteurs de performance	Variable d'action ?	Pondération	Plan d'action QQOQCP	Indicateurs de processus	Indicateur de résultat
Environnement inadapté	OUI	7 %			MTBF
Matière non conforme	OUI	30 %	Mise en place de contrôles qualité pour les réceptions matières et travail avec les fournisseurs	% de non-conformité sur les matières reçues	
Maintenance non maîtrisée	OUI	8 %			
Outillages non conformes	OUI	4 %			
Autres facteurs	NON	6 %			

Les indicateurs de résultat peuvent tout à fait être choisis avant une étude approfondie du problème rencontré, alors que les indicateurs de processus ne peuvent exister sans une étude précise de la situation.

Ces deux types d'indicateurs sont tout à fait complémentaires les uns des autres. On ne peut imaginer une entreprise qui se contenterait de mesurer ses résultats sans s'intéresser à la manière de les améliorer… L'entreprise doit donc se doter à la fois d'indicateurs de résultat et d'indicateurs de processus. Mais comment une entreprise doit-elle procéder pour construire un système complet, cohérent et pertinent d'indicateurs de performance ?

2.3. Construction d'un système d'indicateurs de performance, de mesure et de pilotage

La performance est le résultat d'un pilotage. La construction d'un système d'indicateurs de performance doit donc coller au système de pilotage de l'entreprise. Nous pouvons observer un certain parallélisme entre le découpage hiérarchisé du pilotage d'un processus de production et la hiérarchie des approches qualité[1]. Cette décomposition peut être fondée sur celle, classique,

1. Voir notamment l'ouvrage *Qualité en production, de l'ISO 9000 à Six Sigma*, D. Duret, M. Pillet pour plus de détail concernant l'aspect qualité.

du système de production (usine, atelier, cellule, machine) ou sur celle des tâches de production associées, organisées en processus. Cela peut se représenter sous une forme pyramidale d'empilement de ces strates avec d'une part, des niveaux d'agrégation allant d'un point de vue global à une prise en compte des détails, et d'autre part, des horizons temporels se réduisant en même temps que s'affine la granularité d'observation.

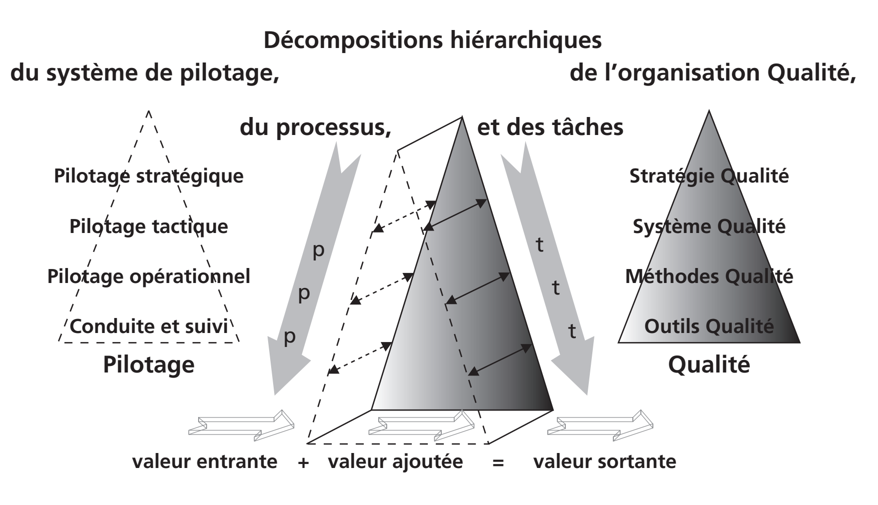


Figure 15.1 – Parallélisme entre l'organisation hiérarchique du pilotage et celle de la qualité

La base de la construction d'un système cohérent d'indicateurs part du niveau stratégique. La direction générale doit clairement définir une stratégie. En effet, le but du système d'indicateurs sera de mesurer l'adéquation ou la non-adéquation des actions mises en œuvre pour respecter cette stratégie.

Cette stratégie doit être éclatée de façon cohérente au niveau tactique. Cela consiste à traduire les décisions stratégiques au niveau des services opérationnels. On doit définir les objectifs principaux liés à cette stratégie.

Les services opérationnels devront traduire ces décisions en sous-objectifs pour le processus concerné par l'utilisation de méthodes et d'outils. C'est le niveau opérationnel.

Enfin, au niveau de chaque poste de travail, on devra également fixer des objectifs cohérents avec les indicateurs d'un niveau hiérarchique supérieur. Ces indicateurs seront les indicateurs de conduite et de suivi.

Le parallélisme entre les différents niveaux de pilotage et les approches qualité tel que le montre la figure 15.1 est frappant, et la version 2008 des normes ISO

en matière de référentiel qualité offre une approche intéressante pour la construction d'un système d'indicateurs cohérent.

La mise en place d'un tel système implique de rechercher la satisfaction des clients en identifiant les CTQ (*Critical To Quality*) qui sont les éléments essentiels de la pérennité de l'entreprise. L'identification de ces CTQ doit être réalisée dans un premier temps au niveau stratégique. La seconde étape consiste à se poser la question : comment mesurer la façon dont on atteint les objectifs fixés ? On voit bien ici le lien avec les indicateurs de niveau stratégique pour l'entreprise.

Pour illustrer ce point essentiel dans une démarche qualité, prenons l'exemple de notre entreprise préférée **iTechMedia**. Le premier travail consiste à identifier les clients de l'entreprise, leurs besoins, leurs exigences et la façon dont on mesure la satisfaction de ces exigences. Ce travail donne lieu à un tableau CTQ dont une version simplifiée est donnée en figure 15.2.

Client	Besoin	Exigence	Mesure
Client final du produit	Disposer d'un moyen d'écouter de la musique n'importe où	Pratique dans son utilisation	Enquête de satisfaction Utilisation de panel
		Fiable	Taux de retours, plainte client
		Coût accessible	Positionnement sur le marché concurrentiel
Actionnaire	Rentabiliser son investissement	Augmentation de la valeur	Valeur de l'action
		Rémunération du capital investi	Dividende
Salariés	Épanouissement personnel	Salaire satisfaisant	Benchmarking sur le marché concurrentiel
		Conditions de travail	Enquête de satisfaction
		Évolution personnelle	Suivi personnalisé évolution + formation
Société	Intégration harmonieuse	Intégration environnementale	Rapport de la DRIR Relation de voisinage
		Participation à la formation des jeunes	Nombre de stagiaires des écoles dans l'entreprise

Figure 15.2 – Diagramme CTQ – niveau stratégique

La colonne « Mesure » permet de définir les indicateurs au niveau stratégique qui permettront de vérifier la satisfaction des clients de l'entreprise.

Le déploiement de ces objectifs au niveau tactique nécessite de décomposer le « système entreprise » en processus mis en œuvre pour atteindre la performance. On dissocie généralement deux types de processus :

- les processus principaux qui sont directement liés à la satisfaction du client ;
- les processus support qui ont comme client les processus principaux.

Cette structuration de l'entreprise sous forme de processus, est une exigence de la norme ISO 9000 2008. Ce travail considérable peut très utilement être mis à profit dans la construction d'un système d'indicateurs cohérent.

Le passage du CTQ stratégique à la structuration du système en processus permet le passage du pilotage stratégique au pilotage tactique.

Chaque processus identifié doit refaire le travail de recherche de son tableau CTQ : quels sont les clients, ses besoins, ses exigences et les mesures que l'on met en place pour vérifier la satisfaction ?

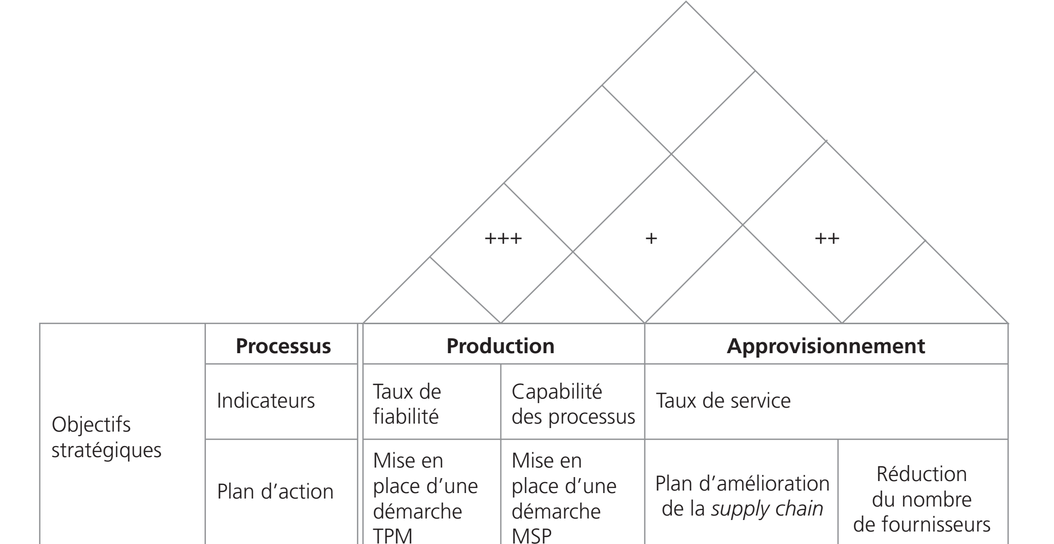
On va alors recenser l'ensemble des facteurs qui influent sur la performance des processus. Puis, la définition du plan d'action s'impose : il faut prendre des mesures précises pour agir sur et modifier la performance des processus concernés. C'est le passage du pilotage tactique au pilotage opérationnel.

La cohérence pourra être vérifiée par un tableau de type QFD, tel que celui figure 15.3. Il permet de vérifier que chaque indicateur de performance au niveau stratégique est bien déployé au niveau opérationnel, et que les indicateurs mis en place au niveau opérationnel s'inscrivent bien dans la stratégie de l'entreprise. La partie supérieure permet de valider la cohérence horizontale des indicateurs dont nous parlerons au paragraphe 2.4.

L'existence des indicateurs se justifie alors comme outil de suivi, de mesure des améliorations progressives. Il est alors indispensable de définir pour chaque indicateur, un libellé, un mode de calcul, une unité de mesure, une périodicité de suivi liée à la capacité d'amélioration ainsi qu'une base de référence (pour savoir d'où l'on part) et un objectif (pour savoir où l'on va).

Prenons un exemple : revenons un instant sur le taux de fiabilité des équipements exprimé en pourcentage.

Nous avons vu dans l'exemple du paragraphe 2.2 que l'on peut l'évaluer par le MTBF.



Objectifs stratégiques	Processus	Production		Approvisionnement	
	Indicateurs	Taux de fiabilité	Capabilité des processus	Taux de service	
	Plan d'action	Mise en place d'une démarche TPM	Mise en place d'une démarche MSP	Plan d'amélioration de la *supply chain*	Réduction du nombre de fournisseurs
OS1		1	1	9	6
OS2		3	9	3	3
…					
OSx		9	3	1	1
Importance		13	13	13	10

Figure 15.3 – Tableau de cohérence des indicateurs

Les éléments sur lesquels on va agir (les variables d'action) sont, en général :

- les heures d'entretien préventif et les heures d'entretien prédictif ;
- l'état de l'équipement ;
- le nombre d'heures d'utilisation ;
- la maintenabilité (simplicité de maintenance) ;
- la fiabilité dès la conception ;
- l'existence de dispositifs prédictifs.

Les moyens d'action sont :

- la mise en place d'une démarche TPM ;
- la mise en place d'action 5S ;
- l'utilisation de l'AMDEC dans la définition des nouveaux équipements ;
- …

Un indicateur, ce n'est donc pas seulement une expression, ici, le taux de fiabilité, c'est aussi l'ensemble des éléments qui lui sont associés.

2.4. Caractéristiques essentielles des indicateurs de performance

La construction de tout système d'indicateurs nécessite l'existence d'une cohérence horizontale et d'une cohérence verticale dans le système :

- la cohérence horizontale correspond au besoin de s'assurer de la non-contradiction existant entre les indicateurs d'un même niveau hiérarchique. On ne peut pas par exemple avoir un indicateur mesurant l'accroissement de la polyvalence des opérateurs et, simultanément, un indicateur d'accroissement de la productivité ; lorsque la polyvalence augmente, la productivité diminue, au moins dans un premier temps. Dans la figure 15.3 cette cohérence est vérifiée sur chaque couple (de – – – à +++) ;
- la cohérence verticale signifie que les indicateurs d'un certain niveau hiérarchique doivent être le reflet synthétique des indicateurs de niveau hiérarchique inférieur. On peut, par exemple, définir un indicateur synthétique de changement de série comme le temps moyen de changement de série sur les postes à problèmes d'un atelier.

Un système d'indicateurs doit être un outil que l'on utilise comme support d'actions d'amélioration. Il doit être un outil qui permet de savoir où l'on en est, et qui donne la volonté d'aller plus loin.

Les indicateurs doivent :

- être faciles à comprendre, mesurer, représenter puisqu'ils vont être utilisés par tous dans l'entreprise, et surtout par les opérateurs dans les ateliers. Si ces caractéristiques ne sont pas respectées, on a peu de chance de parvenir à mobiliser les hommes et les femmes de l'entreprise autour d'éléments qu'ils ne comprennent pas ;
- couvrir toute l'activité de l'entreprise pour aller dans le sens de la stratégie globale de l'entreprise, parce que l'entreprise est un ensemble d'éléments interdépendants les uns des autres et interactifs, et que la non-prise en considération d'un seul de ces éléments peut conduire à l'échec du projet ;
- être en nombre limité, sinon, il est impossible de les utiliser comme outils d'aide à la décision pertinents. Pour P. LORINO, un décideur ne peut pas prendre en considération plus de cinq ou six indicateurs. Or, chacun des acteurs de l'entreprise est à son poste un décideur en puissance. On doit donc apprendre à synthétiser l'information pour la rendre utilisable ;

- être mis en place et généralisés rapidement. Tous les secteurs de l'entreprise sont concernés par les indicateurs pour améliorer la situation globale de l'entreprise ;
- avoir une fréquence de mesure liée aux possibilités d'amélioration. Il est par exemple inutile de mesurer un temps de changement de série sur une machine toutes les semaines, si l'on ne se donne pas les moyens de l'améliorer durant cette durée ;
- avoir une permanence liée à l'existence du besoin. Quand un indicateur atteint son objectif maximal ou quand on change d'objectif, il ne faut pas hésiter à changer d'indicateur. On peut par exemple définir un indicateur plus sévère que le précédent pour continuer à améliorer une situation, ou supprimer un indicateur quand un besoin disparaît. Parfois, il est cependant nécessaire de maintenir certains indicateurs pour vérifier que le système ne dérive pas. Quand une entreprise a par exemple effectué une action d'amélioration de ses gammes de fabrication et parvient à un niveau de fiabilité de 100%, elle doit maintenir l'indicateur et effectuer périodiquement un contrôle de ses gammes pour vérifier que le niveau de fiabilité reste bien à 100% ;
- permettre une information largement diffusée, mais diffusée seulement aux personnes directement concernées par celle-ci et sous une forme accessible. À cet égard, le mode de représentation, d'affichage de l'information est essentiel. Selon M. GREIF dans *L'usine s'affiche*, « les indicateurs affichés dans l'atelier ne doivent avoir qu'un seul but : devenir les outils de travail de l'équipe, exactement comme ses machines, ses robots ou ses chariots de manutention ». De ce point de vue, une véritable politique d'affichage des indicateurs doit être entreprise. C'est un élément essentiel de la politique de communication interne de l'entreprise.

2.5. Mise en place des indicateurs de performance

Comme toute mise en place de projet, une démarche de mise en place d'indicateurs de performance impose :

- une décision de la direction car dans tout projet important, la direction se doit de soutenir celui-ci et de le relancer en cas de problème. Si ce n'est pas le cas, il n'est pas certain que le projet se pérennise et donne les résultats escomptés. En effet, le projet des indicateurs concerne toute l'entreprise et peut être source de réorganisations, de transformations que doit imposer la direction. Si le projet échoue, les hommes et les femmes de l'entreprise auront la sensation d'une mode qui n'aura duré qu'un temps et il sera très difficile par la suite de leur demander de s'engager à nouveau ;

- une action de sensibilisation et de formation pour tous, et adaptée à chaque groupe constituant l'entreprise. On ne peut demander aux personnes de s'impliquer spontanément dans un nouveau projet sans les informer du contenu et de la finalité de celui-ci. La phase formation-information est un élément important qui conditionne la réussite du projet ;
- un diagnostic de l'existant car on ne peut pas avoir d'objectifs si l'on ne connaît pas la situation de départ. Ce diagnostic doit permettre une analyse de l'entreprise, de ses forces, de ses faiblesses, ce qui permet d'aborder le point suivant ;
- une détermination d'objectifs parfaitement définis dans le temps. Ces objectifs vont se traduire chez tous les acteurs de l'entreprise, aux différents niveaux hiérarchiques existants. Cette détermination d'objectifs est le préalable à une mise en œuvre effective d'actions d'amélioration au niveau des différentes activités définies comme sensibles et indispensables dans la recherche de l'amélioration de l'entreprise.

Pour préciser ces idées, nous allons développer un exemple.

L'entreprise **iTechMedia** souffre d'un grave problème de respect de ses engagements de production à moyen terme. La production réalisée pour chaque produit sur chaque période est rarement conforme à la prévision.

La recherche des causes de ce problème fait apparaître deux éléments principaux :

- les prévisions de production sont déterminées lors de réunions mensuelles regroupant commerciaux, gestionnaires de production et responsables de production. Les participants sont, pour le moment, incapables de se mettre d'accord sur la quantité à choisir pour chaque produit ;
- on constate, en production, quelques problèmes qui sont un frein à la flexibilité, nuisant à la satisfaction des clients exigeant des délais très courts.

Les éléments sur lesquels on peut agir pour commencer à résoudre le problème de respect des engagements sont les suivants :

- l'incapacité de communication entre commerciaux, gestionnaires de production et responsables de production est apparemment liée à leur incompréhension mutuelle, elle-même liée à leur méconnaissance des problèmes des autres ;
- l'absence de flexibilité en production est principalement due à des temps de réglage excessifs et à un niveau de non-qualité important.

On choisit de mettre en place les actions suivantes :

- des séances de formation regroupant commerciaux, gestionnaires de production et responsables de production sont planifiées pour leur apprendre à faire des prévisions cohérentes tenant compte des problèmes de chacun ;
- des chantiers SMED et la mise en place d'autocontrôles statistiques sont également envisagés.

Il reste à définir précisément les objectifs échéancés auxquels on souhaite parvenir et les moyens à mettre en œuvre. C'est à ce niveau-là que l'on va voir apparaître les indicateurs.

Ici, on peut envisager :

- un temps moyen de réglage par atelier ;
- un taux de non-qualité ;
- un indicateur global de respect des engagements : $I = \frac{P - \sum_i |P_i - R_i|}{P}$

avec :

P = Engagement de production par mois pour une famille de produits.

P_i = Prévisions.

R_i = Réalisations pour chaque produit de la famille.

2.6. Affichage : des indicateurs visuels pour manager la performance

Une fois les indicateurs construits, la nécessité de les diffuser, de les afficher est évidente. Cela traduit la volonté de l'entreprise de faire preuve de transparence dans son mode de fonctionnement, de diffuser, de communiquer aux utilisateurs l'évolution des résultats de leurs actions, de leurs plans d'amélioration. C'est un moyen de mobiliser les personnes, de les faire s'approprier véritablement les projets et de s'engager davantage dans ceux-ci.

Les indicateurs auront un intérêt véritable s'ils sont présentés visuellement, si l'on peut organiser des réunions de décryptage devant les panneaux d'information pour pouvoir discuter tous ensemble des situations vécues, faire le point sur les résultats obtenus, mettre en évidence les succès et les échecs, tirer les enseignements qui s'imposent, expliquer les objectifs visés, remobiliser les personnes impliquées dans les projets…

C'est une véritable politique de communication interne qu'il faut mener. Cette partie a déjà été traitée dans le chapitre 11 au paragraphe 2.1.

3. Conclusion

Les indicateurs de performance constituent une solution pour mesurer la performance de l'entreprise, et plus particulièrement de son système de production. Face aux grands bouleversements que subit l'industrie, cette forme d'approche semble indispensable.

Les indicateurs de performance représentent une solution intéressante mais incomplète. En effet, à eux seuls, les indicateurs ne permettent pas d'assurer la compétitivité et la réussite de l'entreprise. Ils ne sont qu'un outil de compréhension, maîtrise, pilotage, donc un outil d'aide à la décision dans l'entreprise.

On peut difficilement imaginer que l'aspect financier soit négligé dans les entreprises. On vend des produits à un certain prix, et on a toujours envie d'en connaître la rentabilité, une rentabilité fondée en particulier sur des informations financières.

On peut donc imaginer dans l'entreprise de demain une superméthode de gestion, un « système analytique » comprenant à la fois :

- un système d'évaluation physique de l'entreprise à partir d'indicateurs de pilotage et de mesure de la performance ;
- un système d'évaluation économique de l'entreprise fondé sur une gestion par activités ;
- un système d'anticipation stratégique fondé sur une analyse *Target Costing* et une analyse *Balance Score Card* (voir chapitre 8 : Chaîne logistique globale).

Ces quatre systèmes devront être parfaitement complémentaires.

Cette situation reste pour le moment assez rare car elle nécessite une refonte complète des outils de gestion. En revanche, la démarche de mise en place d'indicateurs de performance est très répandue car elle correspond à des besoins réels et clairs pour les personnes de la production de pouvoir mesurer et mettre en relief leur évolution…

Bibliographie

APICS Dictionary, 12th edition, 2010.

Arnoult P., Renaud J.,

Flux de production : les outils d'amélioration, AFNOR, 2003.
Capacité, stocks et prévisions, AFNOR, 2003.
Les niveaux de planification, AFNOR, 2003.
Implantation d'atelier – Démarches et outils, AFNOR, 2005.

Baglin G., Bruel O., Garreau A., Greif M., Van Deft C., *Management industriel et logistique*, Économica, 3e édition, 2001.

Baglin G., Bruel O., Garreau A., Greif M., Kerbache L., Van Deft C., *Management industriel et logistique – Concevoir et piloter la Supply Chain*, Économica, 5e édition, 2007.

Bédry P., *Les basiques du Lean Manufacturing – Dans les PMI et ateliers technologiques*, Eyrolles – Éditions d'Organisation, 2009.

Belt B., Brun F., *Gérer l'interface commercial/production – Le PIC et le PDP*, Cabinet Bill Belt S.A.,

Belt B.,

MRP sans OF, Cabinet Bill Belt S.A., 1990.
Les basiques de la gestion industrielle et logistique, Eyrolles – Éditions d'Organisation, 2008.

Benedetti C., *Introduction à la gestion des opérations*, Chenelière Éducation, 4e édition, 2001

BENICHOU J., MALHIET D., *Études de cas et exercices corrigés en gestion de production*, Éditions d'Organisation, 1991.

BLONDEL F., *Gestion de la production – Comprendre les logiques de gestion industrielle pour agir*, Dunod, 5e édition, 2007.

BONNEFOUS C., COURTOIS A., *Indicateurs de performance – Traité IC2*, Hermes Sciences Publications, 2001.

BOUCHE G., CHARPENTIER P., LALLEMAND Ch., MARTIN C., TONNEAU D., *Réussir une organisation en juste-à-temps,* Anact, 1991.

BOUNINE Jean, KIYOSHI S., *Produire juste-à-temps – Les sources de la productivité japonaise*, Masson, 2000.

BOURBONNAIS R., USUNIER J. C., *Pratique de la prévision des ventes*, Économica, 2e édition, 1997.

BRANDENBURG H., WOJTYNA J.P., *L'approche processus – Mode d'emploi*, Éditions d'Organisation, 2003.

BUFFERME Jean*, Le guide de la TPM*, Éditions d'Organisation, 2006.

CAP SESA, « Le Centre du management industriel », Rapport Mission Japon, 1992.

CERUTTI O., *Indicateurs et tableaux de bord*, AFNOR, 1992.

CHAPEAUCOU R., *Techniques d'amélioration continue en production : 33 méthodes et outils pour développer les savoir-faire,* Dunod, 2003.

CHRISTOPHER M., *Supply Chain Management – Créer des réseaux à forte valeur ajoutée*, Village mondial, 3e édition, 2005.

COOPER R., KAPLAN R., « Profit priorities from A.B.C. », *Harvard Business Review*, mai-juin 1991.

COURTOIS A.,

Informatique et production « au plus juste », Institute for International Research, Paris 7-8 juin 1993.
Manuel de Gestion – Livre 7 : Gestion de Production, Ellipses – 1999.

DORNIER P.P., FENDER M.,

La logistique globale : Enjeux – Principes – Exemples, Eyrolles – Éditions d'Organisation, 2001.
La logistique globale et le Supply Chain Management : Enjeux – Principes – Exemples, Eyrolles – Éditions d'Organisation, 2007.

DREW J., MCCALLUM B., ROGGENHOFER S., *Objectif Lean – Réussir l'entreprise au plus juste : enjeux techniques et culturels*, Eyrolles – Éditions d'Organisation, 2004.

DURET D., PILLET M., *Qualité en production – De l'Iso 9000 à Six Sigma*, Éditions d'Organisation, 3e édition, 2005.

ECOSIP, *Gestion industrielle et mesure économique, approches et applications nouvelles*, Économica, 2000.

ERSCHLER J., GRABOT B., *Organisation et gestion de la production – Traité IC2*, Hermes Sciences Publications, 2001.

EVRAERT S., MEVELLEC P., « Les coûts à base d'activité », *Revue française de gestion*, janvier-février 1991.

FIORE C., « Supply Chain en action », *Les Échos*, 2001.

FOURNIER P., MÉNARD J. P., *Gestion de l'approvisionnement et des stocks*, Gaëtan Morin, 3e édition, 2009.

GALLOIS P. M., MARCIACQ J. C., *Cours de gestion de production*, AFNOR.

GALLOIS P. M., « Évaluer pour évoluer », Bilan des travaux de la commission AFGI indicateurs de performance, 1994.

GÉLINIER O., *Stratégie de l'entreprise et motivation des hommes, Hommes et techniques*, Eyrolles, 1984.

GEORGE M. L., *Lean Six Sigma*, McGraw-Hill, 2002.

GIARD V., *Gestion de la production et des flux*, Économica, 2003.

GODDARD W., *Décuplez la productivité de votre entreprise par le juste-à-temps*, Le Moniteur, 1990.

GOLDRATT E. M., COX J.,
Le but – L'excellence en production, AFNOR, 1995.
Le but – Un processus de progrès permanent, AFNOR, 2006.

GRATACAP A., *La gestion de production*, Dunod, 2e édition, 2002.

GRATACAP A., MÉDAN P., *Management de la production – Concepts, méthodes, cas*, Dunod, 3e édition, 2009.

GREIF M., *L'usine s'affiche*, Éditions d'Organisation, 2e édition, 2000.

HALL R. W.,
Zero inventories, Irwin Professional Publishing, 1987.
Attaining Manufacturing Excellence, Brown Co, 1986.

HAMMER M., *Carnet de route pour manager*, Maxima, 2002.

HAYES R. H., WHEELWRIGHT S. C., CLARK K. B., *Dynamic Manufacturing*, Mac Milllan, 1988.

Harvard Business Review, préface PÉREBEAU M., « La chaîne de valeur », Éditions d'Organisation, 2000.

HILL A., HILL T., *Manufacturing Operations Strategy – Text and Cases*, Palgrave Macmillan, 3e édition révisée, 2009.

IMAÏ M., *Kaizen : la clé de la compétitivité japonaise*, Eyrolles, 1992.

ISO 2002 - NF 60-182-2002- Moyens de production – Indicateurs de performances – Taux de rendement synthétique (TRS) – Taux de rendement global (TRG) – Taux de rendement économique (TRE).

JAVEL G.,

L'organisation et la gestion de production, Masson, 1997.

Organisation et gestion de la production – Exercices corrigés – 4e édition, Dunod, 2010.

KRAFCIK J.F., « Triumph of the lean production system », *Sloan Management Review* 30 (1), 41-52, 1988.

LAMBERSEND F., *Organisation et Génie de production*, Ellipses Technosup, 1999.

LAURENTIE J., *Logistique – Démarche et techniques*, AFNOR, 1994.

LAURENTIE J., BERTHÉLÉMY F., GRÉGOIRE L., TERRIER C., *Processus et méthodes logistiques – Supply Chain Management,* AFNOR, 2000.

LEBAS M., « Comptabilité analytique basée sur les activités, analyse et gestion des activités », *Revue française de gestion industrielle* n° 4, 1992.

LE DENN Y., *La chaîne logistique au service du client*, Celse, 2001.

LIKER J. K., *Becoming Lean*, Productivity Press, 1997.

LIKER J. K., LEROY D., *Le modèle Toyota*, Pearson, 2e édition, 2009.

LORINO P.,

Le contrôle de gestion stratégique, Dunod, 1993.

Méthodes et pratiques de la performance, Éditions d'Organisation, 3e édition, 2003.

LUNN T., NEFF S. A, *MRP*, McGraw-Hill, 1992.

LYONNET B., « Amélioration de la performance industrielle : vers un système de production Lean adapté aux entreprises du pôle de compétitivité Arve Industries Haute-Savoie Mont-Blanc », thèse 2010.

MARRIS P., *Le management par les contraintes en gestion industrielle*, Éditions d'Organisation, 1994.

Médan P., Gratacap A., *Logistique et supply chain management – Intégration, collaboration et risques dans la chaîne logistique globale*, Dunod, 2008.

MELNYK S. A., CARTER P. L., *Production activity control*, Brown Co, 1989.

MONDON C., *Le chaînon manquant – Management de la chaîne logistique en PMI*, AFNOR, 2e édition, 2010.

MONTGOMERY D. C., *Statistical Quality Control*, Wiley, 6e édition révisée, 2008.

ORLICKY J., *Material Requirements Planning*, Mc Grow-Hill, 1975.

ORTIZ C. A. *Kaizen assembly – Designing, constructing, and managing a lean assembly line*, CRC Press Inc, 2006.

PILLET M.,

Introduction aux plans d'expériences par la méthode Taguchi, Éditions d'Organisation, 1994.
Appliquer la maîtrise statistique des processus (MSP/SPC), Éditions d'Organisation, 4e édition, 2005.
Six Sigma : comment l'appliquer, Éditions d'Organisation, 2003.

PIMOR Y., FENDER M., *Logistique – Production, Distribution, Soutien*, Dunod, 5e édition, 2008PILLET M., *Améliorer la productivité – Déploiement industriel du tolérancement inertiel*, Eyrolles – Éditions d'Organisation, 2010.

POIRIER C. C., REITER S. E., *La supply chain – Optimiser la chaîne logistique et le réseau interentreprises*, Dunod, 2001.

Revue de gestion 2000, Dossier « La logistique aujourd'hui : perspectives stratégiques », janvier-février 2002.

ROTHER M., HARRIS R., *Creating Continuous Flow*, Lean Enterprise Institute, 2001.

ROUX M., *Entrepôts et magasins*, Eyrolles, 4e édition, 2008.

ROUX M., LIU T., *Optimisez votre logistique d'entrepôt*, Éditions d'Organisation, 2003.

SAMII A. K.,

Mutations des stratégies logistiques en Europe, Nathan, 1997.
Stratégies logistiques – Fondements, Méthodes et Applications, Dunod, 2002.

SHINGO S., *Maîtrise de la production et méthode Kanban : le cas Toyota*, Éditions d'Organisation, 1983.

SMALLEY A., *Creating Level Pull*, Lean Enterprise Institute, 2011.

STIEN C., *L'approche Supply Chain facile ! Apprendre à manager par les risques*, AFNOR, 2009.

STOCKER Gregg D., *Quality function deployment – Listening to the voice of the Customer*, APICS conference proceeding, 1991.

TAGUCHI G., *System of experimental Design*, Vol. I & II, Kraus, 1987.

TAKASHI O., *Les 5S – Première pratique de la qualité totale*, Dunod, 1993.

TIXIER D., MATHE H., *La logistique*, PUF, 2010.

TREY P., *Le 5S, socle de l'efficacité industrielle – Mode d'emploi*, AFNOR, 2003.

VALLIN P., *La logistique – Modèles et méthodes du pilotage des flux*, Économica, 4e édition, 2006.

VOLCK N., *Déployer et exploiter Lean Six Sigma*, Eyrolles – Éditions d'Organisation, 2009.

VOLLMANN T. E., BERRY W. L., WHYBARK D. C., JACOBS F. R., *Manufacturing Planning and Control Systems for Supply Chain Management*, McGraw-Hill, 5e édition révisée, 2004.

WOMACK J. P., JONES D. T., ROOS D., *Le système qui va changer le monde*, Dunod, 1993.

WOMACK J. P., JONES D. T., *Système Lean – Penser l'entreprise au plus juste*, Pearson, 3e édition, 2009.

WOMACK J., JONES D. T., *Seeing the whole*, Lean Enterprise Institute, 2002.

Table des figures

Index

Composé par Sandrine Rénier
N° d'éditeur : 4247
Dépôt légal : mai 2011